



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**VÝVOJ APLIKACE PRO MĚŘENÍ SPOTŘEBY
ELEKTRICKÉ ENERGIE STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ**

DAQ APPLICATION DEVELOPMENT FOR MEASUREMENT OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION
IN MACHINERY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Kovář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Andrš, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: Bc. Lukáš Kovář
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: Ing. Ondřej Andrš, Ph.D.
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Vývoj aplikace pro měření spotřeby elektrické energie strojních zařízení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Hlavním úkolem této práce bude navrhnout a implementovat aplikaci pro měření spotřeby elektrické energie strojních zařízení, zvláště potom asynchronních motorů. V úvodní části práce bude provedena rešeršní studie metodiky měření a samotných prostředků měření spotřeby elektrické energie strojních zařízení. Potom bude proveden návrh a implementace vlastní aplikace v prostředí LabVIEW s využitím měřicího HW od firmy National Instruments, LEM a Socomec.

Cíle diplomové práce:

Seznámit se s vývojovým prostředím LabVIEW a NI DAQ platformami.
Provést rešeršní studii daného tématu.
Navrhnout aplikaci pro vizualizaci měření spotřeby elektrické energie.
Implementovat aplikaci pro vizualizaci měření spotřeby elektrické energie.
Implementovaný systém otestovat a vyzkoušet.

Seznam doporučené literatury:

SROVNAL, Vilém. Elektrotechnická měření: měřicí přístroje : pro SPŠ elektrotechnické. Praha: Informatorium, 2008. ISBN 978-80-7333-062-0.

BRTNÍK, Bohumil. Elektrická měření pro bakaláře. Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 9788073004057.

LACKO, Ľuboslav. Mistrovství v SQL Server 2012, COMPUTER PRESS, ISBN: 978-80-251-3773-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem mé diplomové práce je vyvinout aplikaci pro sběr a analýzu dat o spotřebované elektrické energii u strojních zařízeních. Diplomová práce v první části poskytuje ucelený přehled o metodách měření spotřeby elektrické energie. Především se zaměřuje na měření spotřeby elektrické energie ve střídavých trojfázových distribučních sítích. Dále jsou popsány hlavní komponenty systémů pro pořizování dat. Jsou zmíněny hardwarové komponenty použité při měření, stejně jako programovací prostředí LabVIEW, v němž byl program vytvořen.

ABSTRACT

The goal of the diploma thesis is to develop application for data acquisition and analysis during the measurement of electrical consumption at mechanical machines. First part of the diploma thesis is providing general summary about the methods of measuring the electrical consumption. Special focus is given on methods of the metering electrical consumption in three-phase distribution network. Furthermore, the data acquisition components are being described. Hardware components and development environment LabVIEW where the program itself was created are detailly described.

KLÍČOVÁ SLOVA

LabVIEW, Systémy pro pořizování dat, metody měření spotřeby elektrické energie, senzory, Diris A10

KEYWORDS

LabVIEW, Data acquisition platforms, methods of measuring electrical consumption, sensors, Diris A10

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOVÁŘ, Lukáš. Vývoj aplikace pro měření spotřeby elektrické energie strojních zařízení. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/123716>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Ondřej Andrš.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Ondřeji Andršovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při tvorbě diplomové práce. Také bych chtěl vyjádřit vřelé díky své rodině, jenž mě v době studia podporovala, a vytvářela tak vhodné podmínky ke studiu.

V Brně dne 26. 6. 2020

.....

Kovář Lukáš

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Andrše, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. 6. 2020

.....

Kovář Lukáš

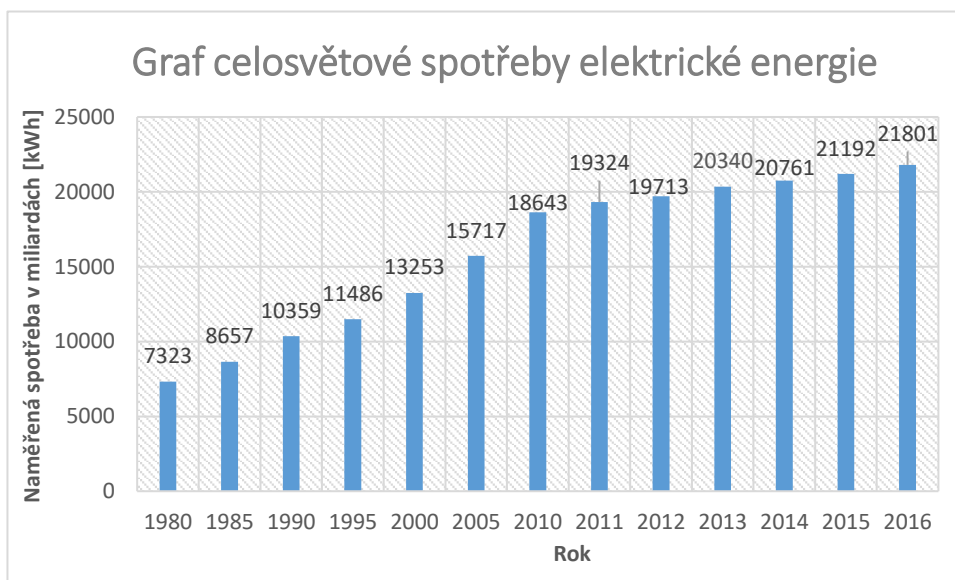
OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PRINCIPY MĚŘENÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE	16
2.1	Proud, napětí, výkon, práce	16
2.2	Typy a úprava elektrických signálů	18
3	METODY A ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE	20
3.1	Analogové měřicí přístroje	21
3.1.1	Magnetoelektrické měřicí přístroje	21
3.1.2	Feromagnetické (elektromagnetické) přístroje	23
3.1.3	Elektrodynamické měřicí přístroje	24
3.1.4	Ferodynamické měřicí přístroje	25
3.1.5	Indukční měřicí přístroje	26
3.1.6	Tepelné měřicí přístroje s bimetalem	27
3.1.7	Elektrostatické měřicí přístroje	28
3.1.8	Rezonanční měřicí přístroje	29
3.2	Digitální měřicí přístroje	30
3.2.1	Snímání proudu u digitální soustavy	30
3.2.2	Snímání napětí u digitální soustavy	32
3.2.3	Analogově digitální převodník	33
3.3	Přístroje pro měření elektrických veličin	33
3.3.1	Měření proudu	34
3.3.2	Měření napětí	34
3.3.3	Měření výkonu	35
3.3.4	Elektroměry pro stejnosměrný proud	36
3.3.5	Točivé analogové elektroměry na měření střídavého proudu	37
3.3.6	Digitální metody měření spotřeby elektrické energie	37
3.3.7	Systémy pro kontinuální měření a sledování kvality rozvodné sítě	41
3.4	Vyhodnocování měření	42
3.4.1	Neurčitost měření při použití číslicových přístrojů	44
4	SYSTÉMY PRO POŘIZOVÁNÍ DAT	45
4.1	Komponenty DAQ systémů	45
4.1.1	Senzory	45
4.1.2	Platforma systémů pro pořizování dat	46
4.1.3	Počítač a software	46
4.2	Platformy pro komerční využití	47
4.3	National instruments	47
4.3.1	PXI	47
4.3.2	CompactDAQ	48
4.3.3	CompactRIO	48
4.4	LEM	49
4.5	Socomec	49
5	POUŽITÉ MĚŘICÍ VYBAVENÍ	50
5.1	Měřicí karta NI-9205	50
5.2	LV25-P	51
5.3	205-S/SP3	51
5.4	LAH 50-P	52

5.5	Diris A10	52
6	REALIZACE V LABVIEW.....	54
6.1	Práce s programem	54
6.2	Tvorba aplikací	54
6.2.1	Aplikace pro zpracovávání a analýzu dat z DAQ měřicí karty	55
6.2.2	Aplikace pro vyčítání dat z elektroměru Diris A10	60
7	MĚŘENÍ A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI APLIKACÍ.....	64
7.1	Měření a ověření aplikace pro DAQ měřicí kartu	64
7.2	Měření a ověření aplikace pro zařízení Diris A10.....	66
8	ZÁVĚR.....	68
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
10	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	73
10.1	Seznam obrázků.....	73
10.2	Seznam zkratk.....	75
11	SEZNAM PŘÍLOH.....	77

1 ÚVOD

Spolu se stále více se rozvíjejícími technologiemi a boomu lidské civilizace se zvyšují i nároky na zdroje energií. Avšak zdroje, ani ty energetické, nejsou nekonečné a pokud jich čerpáme příliš, může to mít v jistých případech negativní důsledky na budoucnost celého lidstva. Dozajista to platí i pro zdroje elektrické energie. Způsob „výroby“ elektrické energie se může lišit, ale v důsledku každý způsob, více či méně zatěžuje životní prostředí na naší planetě. Základním předpokladem pro to, jak tuto zátěž snižovat, je i redukovat samotnou spotřebu. Nechceme-li se však vrátit do doby kamenné a přestat používat všechna elektrická zařízení, musíme se je naučit používat s rozmyslem. Umění energeticky hospodařit bude v budoucnu ještě důležitější, než je tomu nyní. Základní prerekvizitou ke snižování jakékoliv spotřeby je její měření. Nejprve potřebujeme vyhodnotit, jaký je momentální stav, abychom se mohli zabývat jeho zlepšováním a pozorovat přitom nezpochybnitelné výsledky. Graf spotřeby elektrické energie v miliardách kilowatt hodin v průběhu let minulých je znázorněn na Obr. 1). [1]



Obr. 1) Graf spotřeby elektrické energie ve světě [2]

Měření elektrické energie zaznamenalo v posledních desetiletích velký pokrok. Dostali jsme se od pohyblivých nepřesných elektroměrů až ke speciálním integrovaným obvodům a celým systémům pro automatické zpracovávání naměřených výsledků. Chtěl bych zdůraznit, že právě rychlost a přesnost měření je klíčem ke zlepšování účinnosti elektrických strojů, motorů a všech zařízení poháněných elektrickou energií. [1]

Hlavním cílem této práce je poskytnout ucelený přehled o metodách měření spotřeby elektrické energie strojních zařízení. Dalším krokem je navrhnout a implementovat aplikaci pro vizualizaci měření elektrické spotřeby. K tomuto bude využito aplikační prostředí LabVIEW a měřicí hardware od firmy National Instruments, Socomec a LEM.

2 PRINCIPY MĚŘENÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Existuje mnoho metod měření spotřeby elektrické energie. Dají se rozdělit podle fyzikálních principů či druhu měřeného proudu. V této diplomové práci se budeme zabývat především metodami měření spotřeby proudu střídavého. Střídavé rozvodné sítě nám poskytují velkou výhodu oproti těm stejnosměrným. Hlavně co se týče přenosu elektrické energie na velké vzdálenosti při co nejmenších ztrátách. Metody měření spotřeby u střídavého proudu můžeme rozdělit na dva základní principy. Prvním je přímé měření hodnot elektrického proudu a elektrického napětí, ze kterých se následně vypočítává spotřeba. Druhým principem je měření hodnot jiných fyzikálních veličin, ze kterých se následně spotřeba elektrické energie protékající daným obvodem dopočítá.

2.1 Proud, napětí, výkon, práce

Elektrický proud je jednou z veličin Mezinárodního systému jednotek SI. Veličina elektrického proudu je pojmenována po francouzském fyzikovi a matematikovi André-Marie Ampèrovi. Nová definice od 20. května 2019 popisuje elektrický proud fixováním číselné hodnoty elementárního náboje $e = 1.602176634 \times 10^{-10}$, je-li vyjádřena v jednotce C, což se rovná A·s, kde sekunda je definována ve smyslu $\Delta\nu_{Cs}$ [3]. Z definice vyplývá, že jeden ampér odpovídá průtoku $1/1.602176634 \times 10^{-10}$ elementárního náboje za jednu sekundu [4].

Elektrické napětí je na rozdíl od elektrického proudu veličina odvozená a je definována jako rozdíl elektrických potenciálů ve dvou bodech prostoru nebo jako záporně vzatá práce při přemísťování náboje elektrostatickou silou. [6] Definice může být také vyjádřena rovnicí (1):

$$U = \Delta\varphi = \varphi_f - \varphi_i = -\frac{W}{Q} \quad (1)$$

kde	U	...	napětí [V]
	$\Delta\varphi$...	rozdíl dvou potenciálů [V]
	φ_f	...	napětí ve finálním bodě [V]
	φ_i	...	napětí v počátečním bodě [V]
	W	...	práce [Ws]
	Q	...	náboj [C]

Jak už bylo uvedeno, elektrickou spotřebu nelze přímo měřit, avšak lze ji vypočítat z naměřených hodnot elektrického proudu a napětí. K výpočtu spotřeby musíme nejdříve znát elektrický výkon. V obvodech se stejnosměrným elektrickým proudem je výpočet zdánlivě jednoduchý. Výkon je roven součinu velikosti hodnot elektrického napětí (U) a elektrického proudu (I), jak popisuje rovnice (2):

$$P = U \cdot I \quad (2)$$

kde	P	...	výsledný výkon braný jako výkon činný [W]
	I	...	elektrický proud [A]
	U	...	elektrické napětí [V]

Výpočet výkonu elektrického proudu v obvodech se střídavými proudy je však o něco komplikovanější. Nelze ho určit jednoduchým výpočtem z okamžitého napětí (u) a okamžitého proudu (i), jelikož hodnota elektrického napětí a proudu není konstantní, ale mění se v čase. Zjednodušíme proto případ měření pouze na jednofázovou soustavu s harmonickým průběhem proudu a napětí. Zavedeme efektivní hodnoty napětí a proudu (U , I) vypočtené z amplitudy harmonického průběhu elektrického proudu ($I_{\max.}$) a amplitudy elektrického napětí ($U_{\max.}$) podle rovnice (3) a (4):

$$I_{ef} = \frac{I_{\max.}}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

$$U_{ef} = \frac{U_{\max.}}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

kde I_{ef} ... efektivní hodnota procházejícího proudu [A]
 $I_{\max.}$... amplituda měřeného proudu [A]
 U_{ef} ... efektivní hodnota napětí v obvodu [V]
 $U_{\max.}$... amplituda napětí v obvodu [V]

Nadále však v elektrickém obvodu může docházet k posunu mezi proudem a napětím, což se velkou mírou projeví na velikosti vypočteného výkonu. Jestliže má spotřebič induktivní charakter, dochází ke zpoždování proudu za napětím. Na druhou stranu, jestliže má spotřebič kapacitní charakter, dochází k fázovému předstihu proudu před napětím. Odporový charakter spotřebiče posun teoreticky nezpůsobuje, avšak v praxi se setkáváme i s tím, že odporové zátěže mají v celku charakter induktivní. Existuje-li mezi proudem a napětím fázový posun φ , účinník η nabývá hodnoty menší jak 1. Účinník je člen, který musíme při výpočtu výkonu ve střídavých obvodech zahrnout do výpočtu. Účinník je bezrozměrná veličina hojně využívaná u harmonických průběhů střídavých proudů a napětí. Poměrově rozděluje zdánlivý výkon jednofázového střídavého proudu S na činný P a jalový Q . [5] Jednotlivé druhy výkonů vypočteme podle vztahů uvedených v rovnicích (5), (6) a (7):

$$S = U \cdot I \quad (5)$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (7)$$

kde S ... zdánlivý výkon [VA]
 P ... činný výkon [W]
 φ ... fázový posun mezi proudem a napětím [-]
 Q ... jalový výkon [VAr]

Zdánlivý výkon střídavého proudu, jehož jednotkou je *voltampér*, představuje teoretickou hodnotu maximálního dosažitelného výkonu za předpokladu, že fázový posun bude nulový. Činný výkon, jehož jednotkou je *watt*, vyjadřuje energii, která je spotřebovávána přístrojem. Jalový výkon, jehož jednotkou je *voltampér reaktanční*, představuje výkon, který není přístrojem spotřebováván a vrací se zpět do sítě. Tyto výkony velice zatěžují rozvodnou síť, ačkoliv se nikterak nepodílejí na vykonané práci. Z výše uvedených se budeme zaměřovat na výkon činný, jenž se používá pro zaúčtování spotřebované energie dodavatelskými společnostmi. [24] Pro měření činného výkonu v trojfázové síti poté platí obměněný vzorec (8):

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3 \quad (8)$$

Vzorec popisuje, že trojfázovou soustavu si lze představit jako soustavu složenou z tří jednofázových soustav [5]. Jestliže se nemění zatížení, můžeme poté vypočítat výkon jako podíl práce vykonané elektrickým proudem za určitou jednotku času, jak představuje rovnice (9):

$$P = \frac{W}{t} \quad (9)$$

kde t ... jednotka času [s]

Takovou rovnici můžeme přepsat do tvaru znázorněné v rovnici (10), ve které celková práce je vyjádřena jako výkon za jednotku času.

$$W = P \cdot t \quad (10)$$

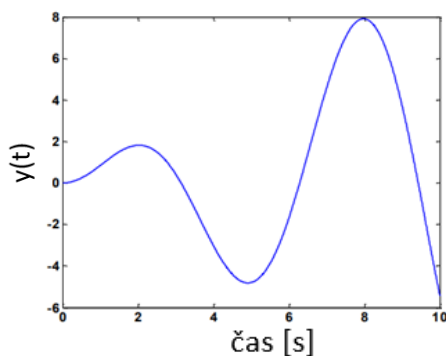
V reálném světě se však zatížení v elektrické síti mění a pro náš reálný případ bude lépe odpovídat rovnice (11):

$$W = \int_0^T P dt \quad (11)$$

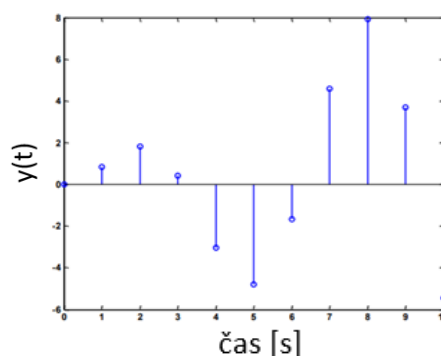
Jednotkou uváděnou především ve vědecké scéně je *watt sekunda [Ws]* neboli *joule [J]*. V praxi se používají násobky *watt sekundy*, nejčastěji pak *watt hodina [Wh]* nebo *kilowatt hodina [kWh]*. [5]

2.2 Typy a úprava elektrických signálů

Signál je obecně definován jako fyzikální jev nesoucí informaci. Nejčastěji se v elektrotechnice setkáváme s definicí signálu jako časového průběhu určité determinované nebo náhodné fyzikální veličiny. V rámci této diplomové práce se budeme zabývat elektrickými signály napětí a proudu. Existuje mnoho způsobů, jak lze elektrické signály rozdělovat. Signál lze dělit na signál analogový (spojitý), který je přímým obrazem fyzikálních jevů a signál digitální (diskrétní), jež nabývá pouze celočíselných hodnot a je vyjádřen konečnou řadou číslic. Tyto signály jsou znázorněny na Obr. 2). [30]



(a) Spojitý signál



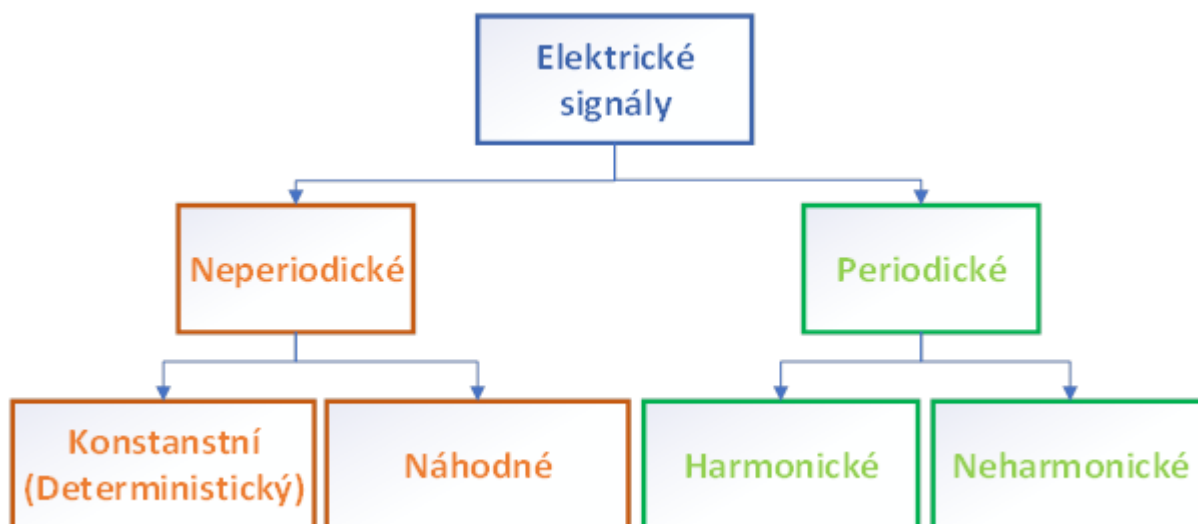
(b) Diskrétní signál

Obr. 2) Signály [30]

Dále lze signály rozdělit dle Obr. 3). Konstantní neperiodický signál nabývá pouze jedné hodnoty, která se v časovém průběhu nemění. V ideálním případě by se průběh stejnosměrného proudu a jeho signál skládal pouze z konstantního signálu a nevyskytovaly by se v jeho průběhu žádné výkyvy způsobené rušivými vlivy. Náhodný neperiodický signál je v elektrotechnice způsobený většinou šumem. Tento šum se vyskytuje více či méně ve všech elektrotechnických obvodech a může být způsobený jak interně v analyzovaném obvodu, tak externě mimo analyzovaný obvod. [30]

Dalším typem elektrických signálů jsou harmonické periodické signály, které si lze nejnázneji představit jako periodické funkce sinus či cosinus. Průběh střídavých elektrických veličin by byl za ideálních podmínek stejný jako průběh funkce sinus nebo cosinus či jiné harmonické funkce, avšak reálný signál je u střídavých elektrických veličin proudu a napětí tvořený ze všech čtyř druhů signálů. Neharmonický periodický signál je poté složen z nekonečného množství harmonických signálů. [30]

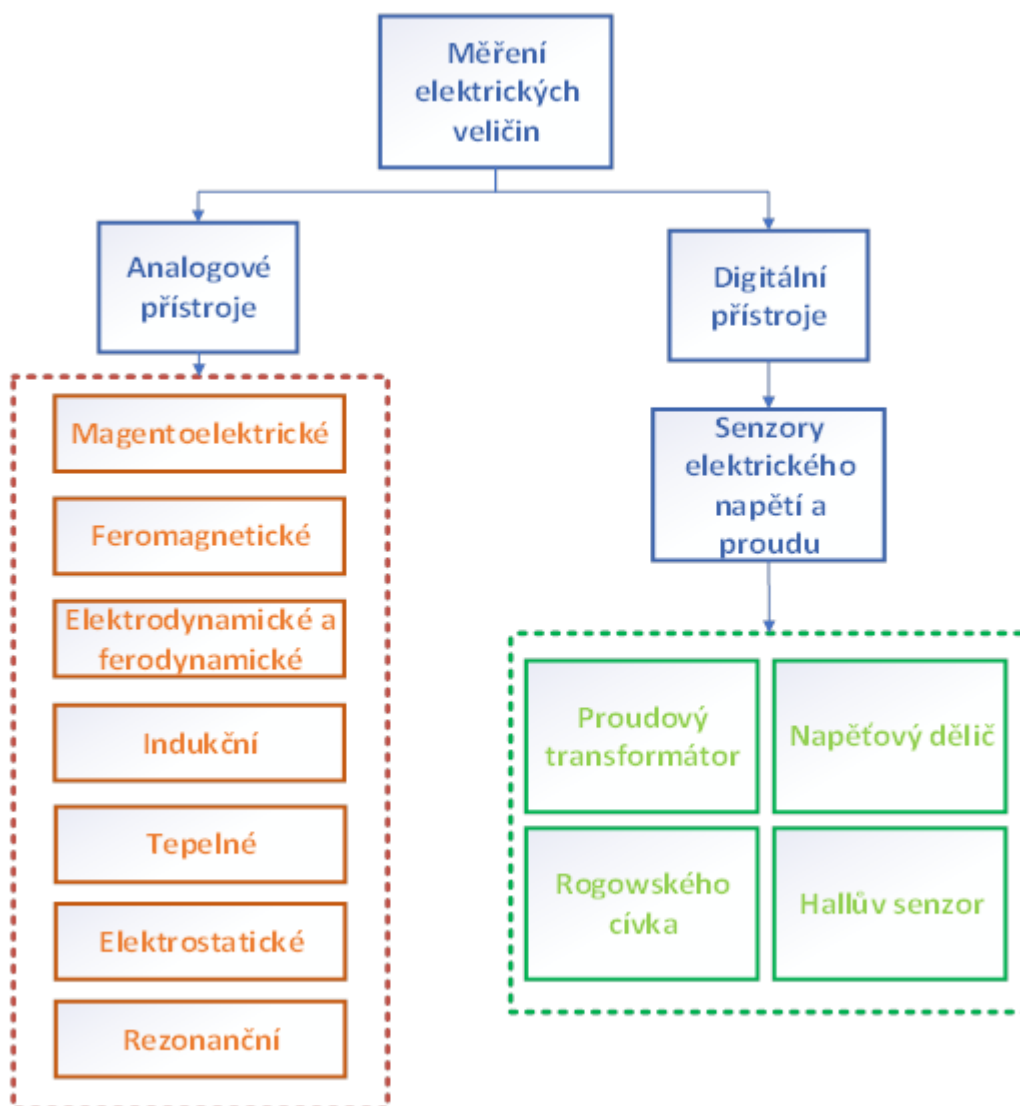
Signál v elektrotechnice můžeme také upravovat, tzv. modulovat. Modulace je nelineární proces, kterým se mění charakter nosného signálu pomocí signálu modulačního. Nejčastěji se s tímto procesem můžeme setkat v rozhlasovém vysílači či přijímači a v komunikačních zařízeních, kde je potřeba signál upravit pro přenos. Vhodně upravený signál poté lze přenášet na mnohem větší vzdálenosti. [31]



Obr. 3) Rozdělení typů signálů

3 METODY A ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE

Metodika měření elektrických veličin je velmi rozsáhlá. Nepojednává pouze o měření elektrického proudu a napětí, na které se budeme dále zaměřovat, ale i dalších veličin jako je odpor, kmitočet a další. V metodách měření budou popsány především přístroje, jež se podílejí na měření spotřeby ve střídavých elektrických obvodech, avšak zmíněny budou i přístroje pro obvody stejnosměrné. Je zde mnoho kritérií, podle kterých lze metody a přístroje rozdělovat. Například elektroměry můžeme rozdělit podle toho, jakou práci měří (činná, jalová, zdánlivá). Pro účely a zaměření diplomové práce budeme dále popisovat především elektroměry pro měření činné práce a jejich komponenty, jelikož ty jsou důležité pro zúčtování přivedené energie do soukromých statků elektrickými společnostmi. Rozdělení metod snímání elektrických veličin můžete detailněji vidět na Obr. 4).



Obr. 4) Metody snímání elektrických veličin

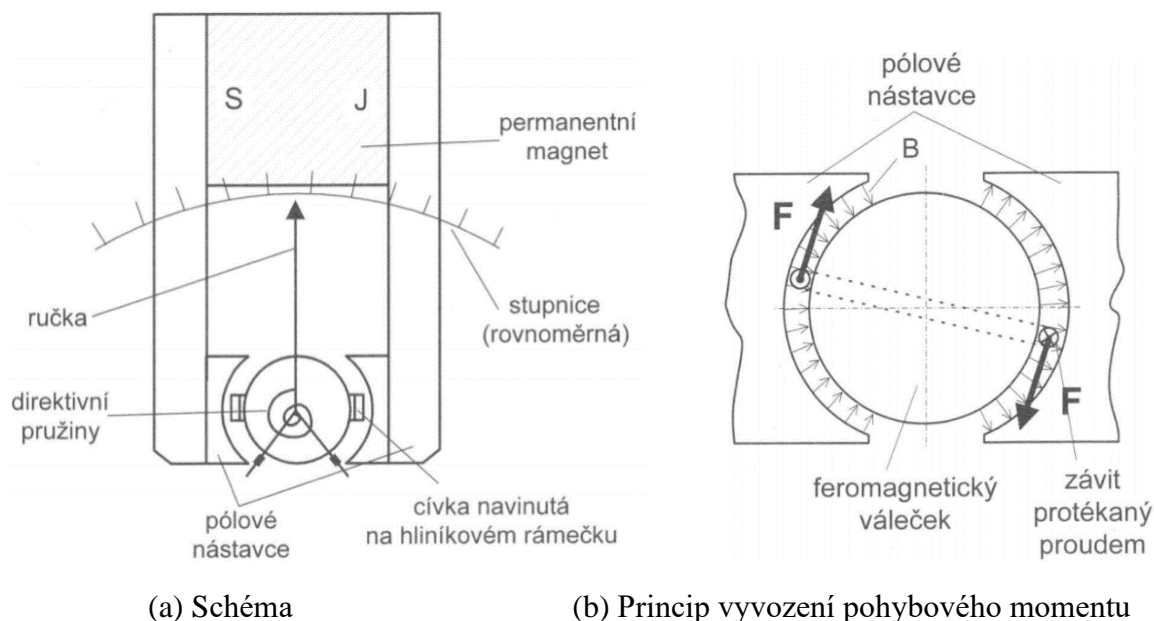
3.1 Analogové měřicí přístroje

Analogové měřicí přístroje v sobě nacházejí zpravidla elektromechanickou měřicí soustavu. Každý přístroj se v principu rozděluje na pevnou a pohyblivou část, ke které je napevno přidělaný ukazatel například ručička, která poté vyznačuje hodnoty na vhodně zvolené stupnici. V následujících kapitolách popsané měřicí soustavy slouží jako základ pro ampérmetry, voltmetry, wattmetry a jiné elektrické měřicí přístroje, které využíváme ke zjišťování hodnot elektrických veličin.

3.1.1 Magnetoelektrické měřicí přístroje

Magnetoelektrická metoda měření využívá sil působících v magnetickém poli stálého (permanentního) magnetu na vodiče cívky, kterou protéká stejnosměrný elektrický proud. Hlavními prvky soustavy je tedy permanentní magnet, dva pólové nástavce vhodného tvaru, váleček z feromagnetického materiálu (např. železa), na kterém je navinuta cívka a dvě direktivní pružiny. [24]

Cívka umístěná ve vzduchové mezeře tvoří otočné ústrojí nesoucí ručičku ukazatele. Proud se do cívky přenáší přes pružinky, které jsou zároveň použity k navození tzv. „řídícího směrního momentu“, který působí proti pohybovému momentu vyvolaném průchodem elektrického proudu. Celou soustavu tím uvede do rovnováhy a ručička ukazatele se ustálí na dané hodnotě. Schéma principu fungování celé soustavy je znázorněno na Obr. 5). [24]



Obr. 5) Magnetoelektrický přístroj [5]

Základem pro pochopení systému je porozumění magnetismu. Permanentní magnet vytváří v mezeře radiální magnetické pole. Síla působící na vodič v magnetickém poli se poté vypočítá dle rovnice (12):

$$F = BIl \quad (12)$$

kde F ... magnetická síla [N]
 B ... magnetická indukce pole [T]
 l ... aktivní délka vodiče (délka zasažena magnetickým polem) [m]

Cívka má počet závitů N a dvě stejně velké síly, které působí na obou stranách cívky. Jelikož je cívka upevněna na hřídeli, procházející proud vyvolává pohybový moment určený vztahem (13):

$$M_s = 2NBilr \quad (13)$$

kde M_s ... pohybový moment soustavy [Nm]
 N ... počet závitů cívky [-]
 r ... poloměr cívky [m]

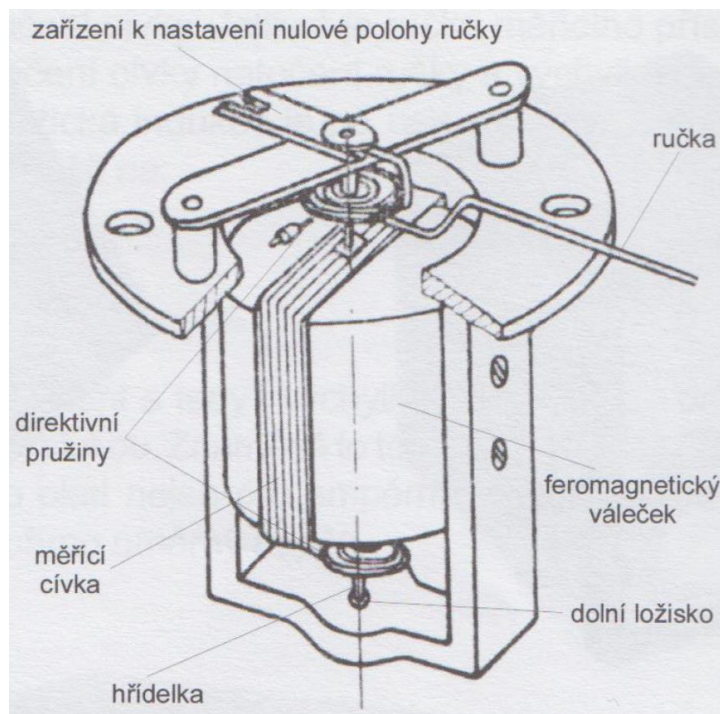
Pohybový moment je zodpovědný za natočení cívky, tedy i ručičky ukazatele. Proti němu působí direkční moment M_d , který způsobuje zkracování direkční pružiny. Velikost direkčního momentu je dána vztahem:

$$M_d = k_d \cdot \alpha \quad (14)$$

kde M_d ... direkční moment soustavy [Nm]
 α ... natočení pružiny [rad]
 k_d ... konstanta pružiny [N·m]

Soustava se poté ustálí na výchylce α . V celkovém důsledku je výchylka ručičky ukazatele přímo úměrná protékajícímu proudu, tím pádem je stupnice elektromagnetických přístrojů rovnoměrná. Toto tvrzení platí i pro voltmetry, jelikož podle Ohmova zákona je proud přímo úměrný napětí. [24]

Magnetoelektrickou metodu můžeme použít pouze při měření stejnosměrných proudů, jelikož ústrojí dokáže rozlišit polaritu proudu a napětí. Změna polarity napětí způsobí, že na cívku bude působit moment opačným směrem a přístroj bude mít zápornou výchylku. Běžný magnetoelektrický přístroj s hrotovým uložením je zobrazen na Obr. 6).



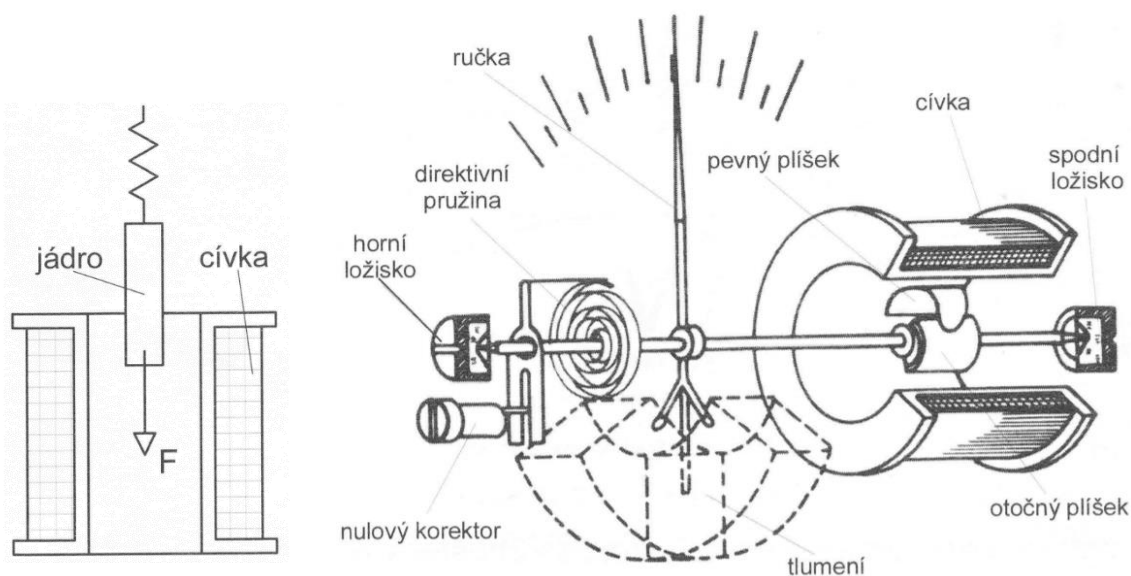
Obr. 6) Magnetoelektrický přístroj s hrotovým uložením [5]

Charakteristické vlastnosti magnetoelektrických přístrojů jsou následující:

- použitelné pro stejnosměrné proudy a napětí s velice širokým rozsahem,
- možnost výroby ve třídě přesnosti až 0,1 (více o třídách přesnosti v kapitole 3.3.7),
- malý vlastní odběr,
- nejvíce ovlivněny změnou teploty, při nárůstu na více jak 30 °C se zvyšuje chyba měření o 0,1 % až 0,2 % z naměřené hodnoty,
- vliv cizích elektromagnetických polí je zanedbatelný, jelikož přístroje pracují se silným vlastním polem permanentních magnetů,
- velice dobře snášejí krátkodobá přetížení,
- nejčastěji používaný analogový přístroj v praxi. [5]

3.1.2 Feromagnetické (elektromagnetické) přístroje

Metoda je založena na principu silového působení dvou feromagnetických plíšků umístěných v magnetickém poli. Magnetické pole vytváří statická cívka obklopující celé ústrojí. V dřívějších konstrukčních uspořádáních vyobrazeném v Obr. 7). válcová cívka do své dutiny vtahovala feromagnetické jádro zavěšené na pružině. Soustavu ustanovovala direktivní síla způsobená natahující se pružinou. Tento princip je velice podobný principu elektromagnetu, a tudíž se tyto přístroje nazývají elektromagnetické. V současnosti se toto uspořádání používá pouze pro orientační měření napětí, např. u přístrojů ZN 1 či VADAS. [5]



(a) Původní uspořádání

(b) Současná konstrukce

Obr. 7) Feromagnetický (elektromagnetický) přístroj [5]

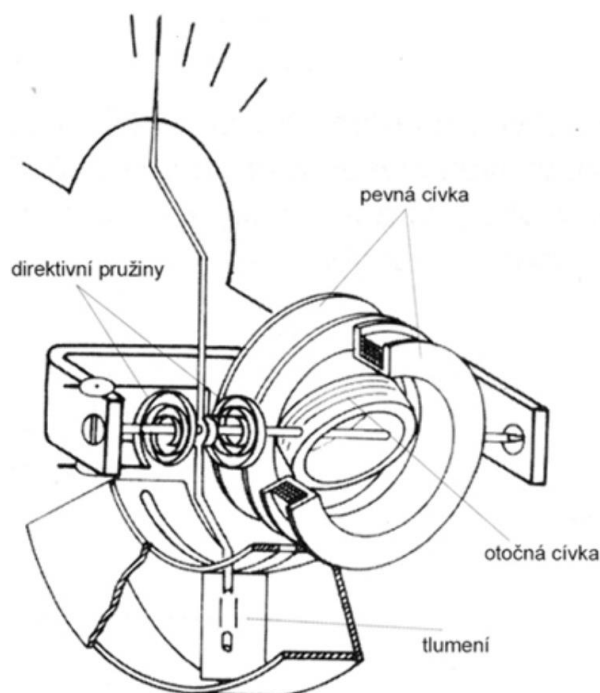
Novodobé typy jsou zkonstruovány z pevné statické válcové cívky, která má na vnitřní straně umístěný pevný plíšek. Ve středové ose válce je umístěna hřídel převážně s hrotovým uložením a na ni je umístěn druhý plíšek navázaný na ručku ukazatele. Při průchodu elektrického proudu cívkou dojde ke vzájemnému odpuzování plíšků působením momentu soustavy, tím pádem i pohybu ukazatele. Direktivní moment je vyvozován direktivní pružinou umístěnou u horního ložiska. Celá soustava je znázorněna na Obr. 7). [5]

Závislost výchylky je úměrná druhé mocnině proudu protékajícího cívkou. To znamená, že stupnice je vždy nerovnoměrná. Charakteristické vlastnosti feromagnetických přístrojů jsou následující:

- soustavy jsou použitelné téměř výhradně pro měření efektivní hodnoty střídavého proudu a střídavého napětí,
- měření v rozsahu 0,1 až 100 A, napětí do 600 V,
- pracovní feromagnetické přístroje mají menší přesnost jak magnetoelektrické (0,5 – 1) avšak pro laboratorní účely lze vyrobit přístroje s třídou přesnosti až 0,1,
- velice odolné levné přetížitelné, jelikož přivedený proud protéká pevnou cívkou, která je ve většině případů dobře chlazená,
- vhodná pro měření do stovek Hz,
- náchylná k ovlivnění cizími elektromagnetickými póly, proto se laboratorní přístroje musí stínit. [5]

3.1.3 Elektrodynamické měřicí přístroje

Metoda elektrodynamická se do velké míry podobá metodě magnetoelektrické. Zařízení jsou rovněž složená z otáčející se cívky v magnetickém poli, kde direktivní pružiny slouží jako přívod procházejícího proudu, a zároveň vyvolávají direktivní moment. Magnetické pole je v elektrodynamické soustavě buzeno cívkou, která je z důvodu homogenity pole rozdělena v celé oblasti otočné cívky na dvě části. Toto je bod, kde se elektrodynamické soustavy liší od magnetoelektrických, jelikož v jejich případě tvoří magnetické pole permanentní magnet. Konstrukce elektrodynamické soustavy je znázorněna na Obr. 8). [24]



Obr. 8) Schéma elektrodynamického ústrojí [5]

Velice důležitý je typ zapojení cívek, jelikož ovlivňuje rozsah přístroje. Jestliže jsou cívky zapojeny sériově, můžeme měřit proudy maximálně do hodnoty 400 mA. Velikost pohybového momentu bude poté úměrná druhé mocnině proudu.

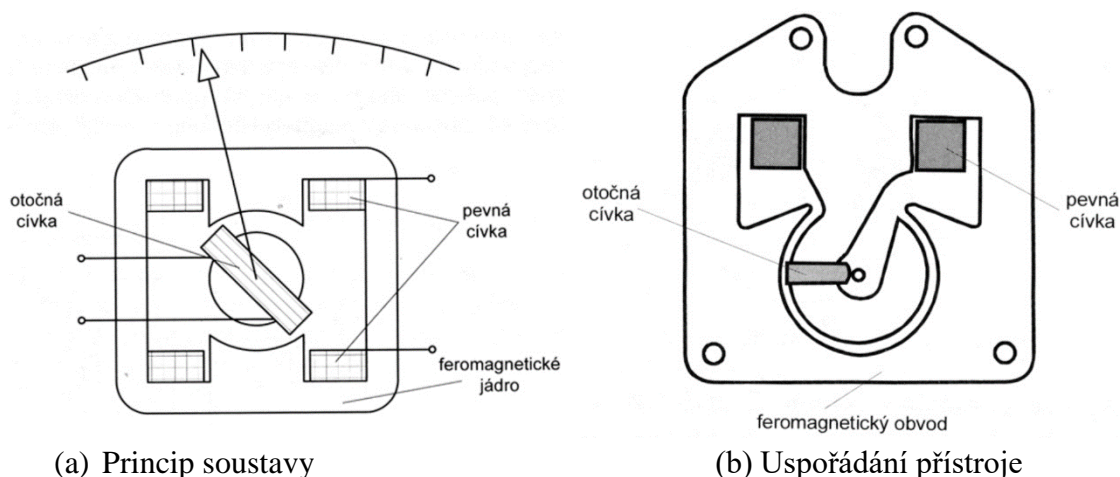
Při měření proudu o větších hodnotách se cívky zapojují paralelně a před pohyblivou cívku se sériově předřazuje bočník s odporem R_p a před pevnou cívku bočník s odporem R_b . Odpory omezují proud protékající cívkami. Elektrodynamické přístroje mohou měřit stejnosměrné i střídavé proudy a napětí. V minulém století platily za laboratorní přístroje o třídě přesnosti 0,2 nebo 0,1, avšak jejich nároky na konstrukci, potažmo cenu, způsobily, že jsou v dnešní době nahrazovány přístroji feromagnetickými. [24]

Nejčastěji se můžeme s elektrodynamickými přístroji setkat u měření výkonu. Pevná tzv. „proudová“ cívka se zapojí sériově se spotřebičem a pohyblivá tzv. „napěťová“ cívka se připojí paralelně ke spotřebiči elektrického proudu. Velikost protékajících proudů obvodem je dána podílem napětí na zátěži a součtem odporů pohyblivé cívky a odporu R_p . Charakteristické vlastnosti elektrodynamických přístrojů jsou následující:

- v současnosti se používají výhradně jako wattmetry pro stejnosměrný i střídavý proud,
- pracovní přístroje se běžně vyrábí ve třídě přesnosti 0,5, avšak pro laboratorní využití lze vyrobit soustavu ve třídě přesnosti 0,2 až 0,1,
- nevýhodou je velká vlastní spotřeba,
- možnost velké přetížitelnosti proudových cívek, lze krátkodobě přetížit až desetinásobně jmenovitou hodnotu rozsahu proudu, avšak napěťová cívka snese maximálně 120 % jmenovité hodnoty rozsahu,
- velice náchylné na cizí magnetická pole, nosné části přístrojů se proto vyrábí z izolantů. [5]

3.1.4 Ferodynamické měřicí přístroje

Ferodynamické zařízení je velice podobné elektrodynamickému zařízením. Princip zde zůstává stejný, avšak feromagnetická měřicí soustava má magnetický obvod, v jehož vzduchové mezeře se pohybuje otočná pohyblivá cívka. Magnetický tok je vytvářen pevnou cívkou, kterou protéká elektrický proud. Magnetická indukce nabývá vysokých hodnot, jelikož většina dráhy toku proudu proudí skrz feromagnetikum. Velkou výhodou poskytuje přítomnost feromagnetického jádra i vzhledem k velkému snížení vlivu cizích elektromagnetických polí. Schéma ferodynamické soustavy naleznete na Obr. 9). [5]



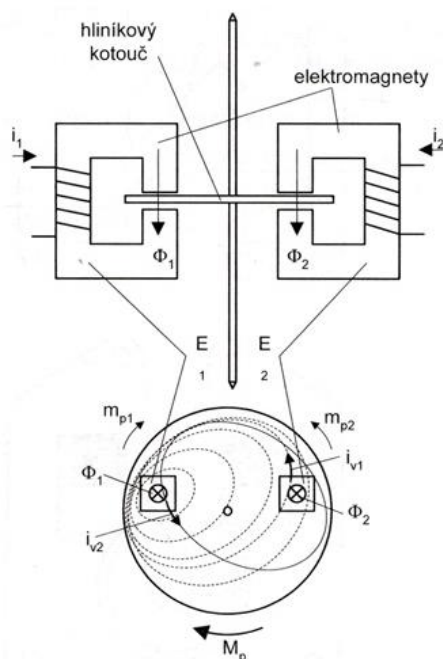
Obr. 9) Schéma ferodynamického přístroje [5]

Charakteristické vlastnosti elektrodynamických přístrojů jsou následující:

- využívají se především jako wattmetry pro střídavé proudy o kmitočtu 50 – 60 Hz,
- pro měření stejnosměrného proudu jsou nevhodné díky remanenci, což je zbytková magnetizace, která zůstane ve feromagnetických materiálech, jestliže přestane působit vnější magnetické pole,
- technickými limity přesnosti výroby jsou třídy 0,5 až 1,
- velký pohybový moment umožňuje využití v registračních přístrojích ke zjišťování velikosti výkonu v závislosti na čase. [5]

3.1.5 Indukční měřicí přístroje

Indukční přístroj využívá principu indukce, kde se v několika elektromagnetech za průchodu střídavého proudu indukují magnetické toky do otočné části, kterou tvoří zpravidla hliníkový kotouč. Podmínkou fungování je tedy napájení systému pomocí střídavého proudu. Střídavý proud je přiveden do cívek, které mají jádro z magneticky měkké oceli. Průchod střídavého proudu cívkou indukuje magnetické toky. Vzájemným působením indukovaných toků a magnetického pole vzniká pohybový moment, který hýbe s otočným kotoučem. Otočný kotouč se nachází ve vzduchové mezeře, a tudíž nemá žádné přímé přívody proudu, jak je znázorněno na Obr. 10). [5]



Obr. 10) Schéma indukčního přístroje [5]

Elektromagnet E_1 způsobuje střídavý magnetický tok ϕ_1 , který indukuje v hliníkovém kotouči napětí. Následně vzniklé vířivé proudy i_{v2} a magnetický tok ϕ_2 vytvoří sílu F_1 a vzhledem k tomu, že disk je umístěn na ose, která je v jeho středu, tak i moment m_{p1} . Obdobná situace platí i pro vzniklý moment m_{p2} . Po sečtení pohybových momentů dostaneme výsledný pohybový moment M_p , který je zodpovědný za otáčení disku. Matematickým postupem bychom dostali vzorec (15):

$$M_p = m_{p1} + m_{p2} = k' \omega \phi_{1m} \phi_{2m} \sin \psi \quad (15)$$

kde	m_{p1}	...	pohybový moment [Nm]
	m_{p2}	...	pohybový moment [Nm]
	k'	...	konstanta určena vodivostí kotouče a vlastnostmi dané konstrukcí ústrojí
	ω	...	úhlová frekvence obou toků (s^{-1})
	ϕ_{1m}	...	amplituda magnetického toku elektromagnetu E_1 [Wb]
	ϕ_{2m}	...	amplituda magnetického toku elektromagnetu E_2 [Wb]
	ψ	...	fázový posun mezi oběma toky [rad]

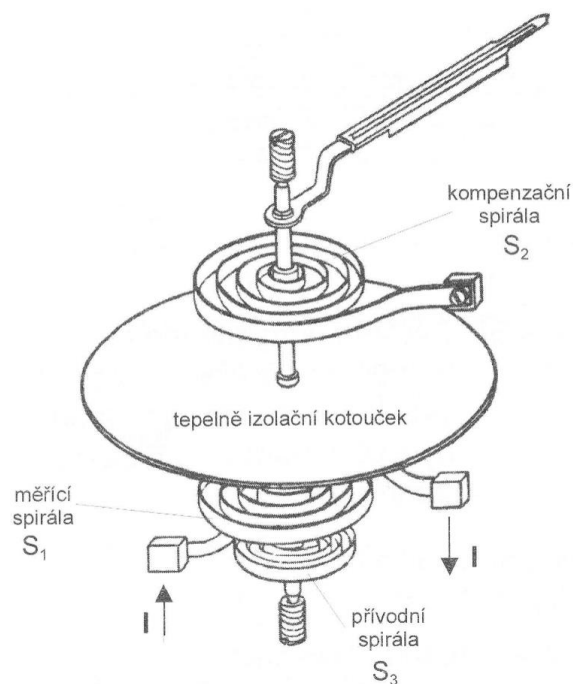
Přístroji pracujícími na indukčním principu lze měřit jalový i činný výkon, avšak používány jsou skoro výhradně pro určování elektrické práce. Dokáží měřit časový integrál výkonu střídavého proudu, tudíž lze zkonstruovat tzv. „elektroměr“ – zařízení pro měření spotřebované elektrické energie ve spotřebiči. Vhodné jsou indukční přístroje především kvůli otáčejícímu se disku v ústrojí místo ručičky ukazatele. Disk se může nekonečně otáčet, a tím pádem i přenášet hodnoty, narozdíl od ručičky ukazatele, která je omezena maximální povolenou výchylkou. Tlumení vyvolává v indukčních zařízeních permanentní magnet. Charakteristické vlastnosti indukčních měřicích přístrojů jsou následující:

- oblast použití se vztahuje téměř výhradně na měření elektrické práce,
- měření v rozsahu síťového kmitočtu,
- velká vlastní spotřeba 15 – 20 VA,
- přetížitelnost je typem konstrukce vysoká, krátkodobě až desetinásobek jmenovitého proudu a dlouhodobě až 100 %,
- teplotní závislost se neprojevuje,
- vzhledem k tomu, že přístroj pracuje se silným magnetickým polem, je vliv cizích magnetických polí zanedbatelný. [5]

3.1.6 Tepelné měřicí přístroje s bimetalem

Tepelné měřicí zařízení využívají fyzikálního principu roztažnosti tuhých látek v závislosti na teplotě. Jak můžeme vidět na Obr. 11), základem bimetalové soustavy jsou tři spirály z bimetalu a tepelně izolační kotouč. Bimetal (dvojkov) je pásek z různých kovů o jiných tepelných roztažnostech. Jestliže se bimetalové pásky zahřejí, začnou se ohýbat na stranu, kde je vlisován materiál s menším koeficientem teplotní roztažnosti. Dvě protisměrně navinuté spirály S_1 a S_3 tvoří měřicí ústrojí. Vnější konce spirál jsou upevněny a spirálami prochází elektrický proud. Spirála S_1 se působením protékajícího proudu začne svinovat nebo roztahovat, a tím otáčet ručičkou měřicího přístroje. Spirála S_2 se využívá jako spirála kompenzační, tedy kompenzuje výkyvy teploty primárně nezpůsobené procházejícím proudem. [5]

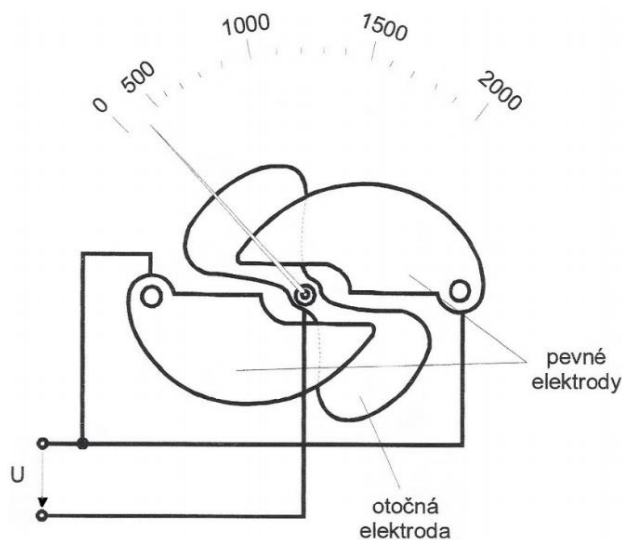
Tepelné měřicí přístroje se v praxi používají jen zřídka. Jsou primárně určeny jako měřiče proudu, tedy ampérmetry, a pro svoji velkou setrvačnost dokáží určovat pouze efektivní hodnoty měřeného proudu. Zařízení dokáže registrovat pouze déletrvající zatížení a doba potřebná pro jejich ustálení je okolo deseti minut. [5]



Obr. 11) Schéma bimetalového přístroje [5]

3.1.7 Elektrostatické měřicí přístroje

Elektrostatické měřicí zařízení již nepoužívají elektromagnetické pole, jak tomu bylo u většiny výše zmíněných soustav, ale pracují na principu pole elektrostatického. Soustava je znázorněna na Obr. 12). Základní části jsou tvořeny pevnými elektrodami, otočnými elektrodami a ručičkou ukazatele upevněnou na otočné části. Jestliže přivedeme do elektrod napětí, začnou na sebe vzájemně působit elektrostatickou silou a přitahovat otočné elektrody, které se snaží co největší plochou zapadnout do mezery mezi pevnými elektrodami. Elektrostatická síla vyvozuje pohyblivý moment soustavy. Direkční moment, který působí proti pohybovému momentu je obvykle vyvozen spirálkou či pružinou, která zároveň slouží pro přívod elektrického napětí na otočné elektrody. Pohybový moment se zvyšuje pomocí paralelního přidávání pevných a otočných elektrod.



Obr. 12) Schéma elektrostatického ústrojí [5]

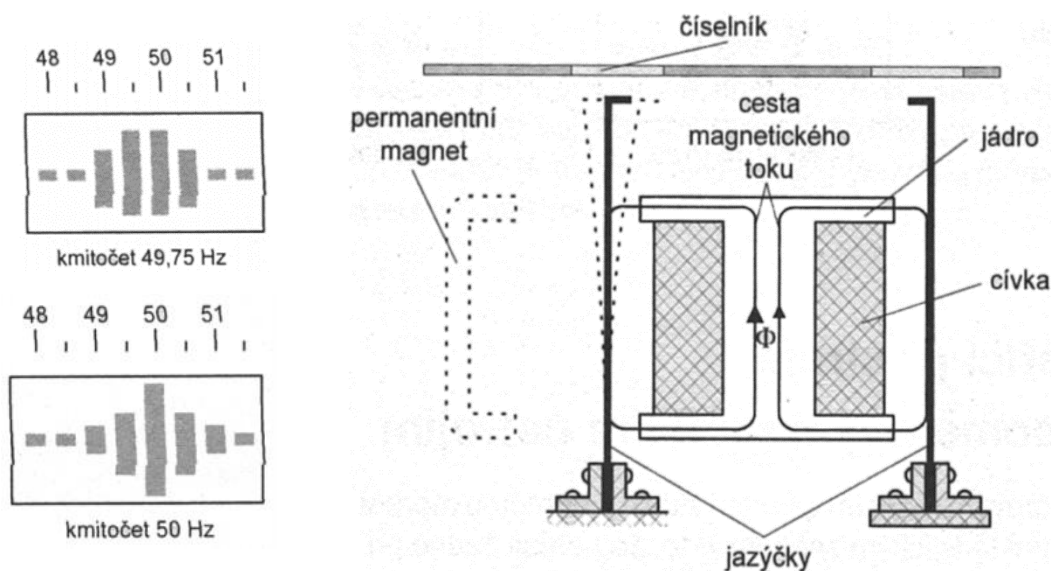
Charakteristické vlastnosti indukčních měřicích přístrojů jsou následující:

- používají se k měření střídavého a stejnosměrného napětí cca. do 600 kV,
- přístroje jsou běžně vyráběné s třídou přesnosti 1,
- rušivé vlivy ostatních elektrostatických polí nejsou zanedbatelné, ale lze je odstranit stíněním,
- jsou velmi náročné na manipulaci a náchylné na otřesy. [5]

3.1.8 Rezonanční měřicí přístroje

Zařízení využívá rezonance své části pro odhalení kmitočtu střídavých napětí potažmo proudů. Příkladem mohou být jazýčkové kmitoměry zobrazené na Obr. 13). Přístroje pracují na principu feromagnetického ústrojí, které se skládá z řady ocelových jazýčků. Jazýčky jsou naladěny na odstupňované kmitočty vlastních mechanických kmitů. V blízkosti jazýčků je umístěn elektromagnet s cívkou napájen střídavým proudem, jehož frekvenci chceme určit. Jazýček s největší výchylkou je poté v rezonanci se střídavým proudem.

Bez permanentního magnetu se kmitočet jazýčku bude pohybovat přibližně okolo dvojnásobku kmitočtu měřeného proudu. Avšak po přidání permanentního magnetu bude jazýček kmitat se stejnou frekvencí jako má měřený proud. Dojde k tzv. „polarizaci“.



(a) Odečítání kmitočtů

(b) Schéma celého přístroje

Obr. 13) Jazýčkový kmitoměr [5]

Charakteristické vlastnosti indukčních měřicích přístrojů jsou následující:

- použití je výhradně pro měření kmitočtů,
- měřicí ústrojí má ve většině případů několik řad jazýčků, které jsou odstupňovány po 0,5 až 1 Hz v oblasti 50 Hz (± 5 Hz),
- mez použití je přibližně do 1000 Hz, ačkoliv běžně se vyrábí pouze do 120 Hz,
- měřicí přístroje se vyrábí ve třídě přesnosti 0,5, výjimečně 0,2,
- připojení do obvodu je paralelní a musí se dbát na přibližné dodržení jmenovitého napětí. [5]

3.2 Digitální měřicí přístroje

Digitální měřicí přístroje v současnosti pomalu nahrazují přístroje analogové. Měření elektrické spotřeby pomocí speciálních obvodů je v současné době jednou z nejpokrokovějších metod. Základní komponenty digitálních soustav ve většině případů jsou senzory elektrických veličin, AD převodníky, vyhodnocovací jednotky a displeje. Data ze specifických měřicích digitálních přístrojů se dají ukládat a analyzovat, což sebou nese jisté výhody. Zařízení jsou jednoúčelové i multifunkční a mohou se od sebe lišit tvary i vlastnostmi, avšak princip snímání elektrických veličin je stejný. [9]

U senzorů digitální soustavy budou detailně popsány senzory pro měření elektrického proudu a elektrického napětí, neboť ty jsou klíčové pro získávání hodnot výkonu, potažmo spotřeby elektrické energie. Elektrický proud a napětí se zde většinou neměří přímým odčítáním naměřených hodnot ze senzorů zapojených přímo do obvodu jako u analogových metod. Veličiny musí být na vstupu upraveny, aby nedošlo k poškození obvodů a jejich senzorů důsledkem vysokých hodnot elektrických proudů či napětí. Před začátkem každého měření musíme detailně prozkoumat, jaké metody snímání napětí a proudu jsou nejvhodnější. Přijímaný signál se poté převádí v AD převodníku na digitální signál, který je následně zpracováván. [8]

3.2.1 Snímání proudu u digitální soustavy

Ve většině obvodů digitální soustavy se elektrický proud neměří přímo, ale vypočítává se z elektrického napětí. Nejčastěji se pro tento postup užívá měření úbytku napětí na velmi přesném rezistoru s velmi malou hodnotou odporu. Rezistor je zapojený v sérii se spotřebičem. Energie se disipuje na rezistoru a my jsme schopni měřit úbytek napětí. Výsledný elektrický proud vypočítáme pomocí Ohmova zákona (16):

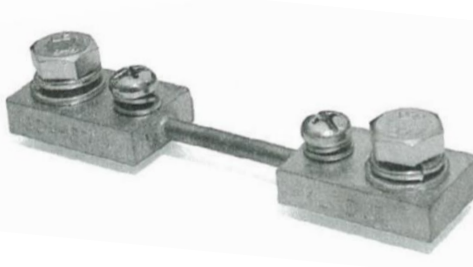
$$I = \frac{U}{R} \quad (16)$$

kde R ... odpor bočníku [Ω]

Tato metoda se nazývá snímání elektrického proudu pomocí bočníku, Obr. 14) znázorňuje jedno z možných schémat a vzhledů.



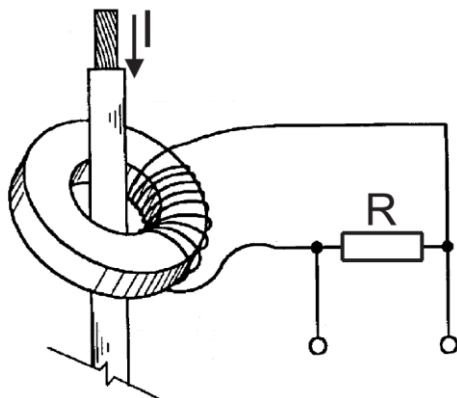
(a) Schéma [12]



(b) Ilustrační obrázek (ze sortimentu firmy GMC) [5]

Obr. 14) Bočník

Další možností je využití proudového transformátoru. Velkou výhodou je, že galvanicky odděluje měřený obvod s měřicím obvodem, a tudíž můžeme měřit i při vysokých napětích a proudech. Nevýhodou je poté způsobený fázový posun. Schéma je znázorněno na Obr. 15). [10]



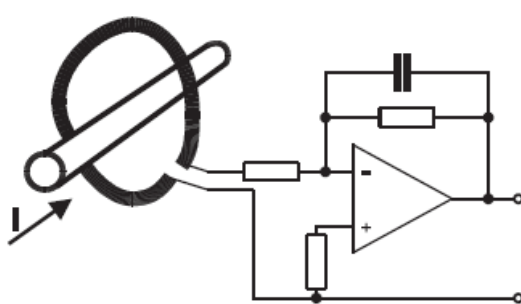
(a) Schéma [10]



(b) Ilustrační obrázek [21]

Obr. 15) Proudový transformátor

Třetí možností je použití Rogowského cívky zobrazenou na Obr. 16). Samotná cívka nemá jádro z feromagnetického materiálu a je navinuta ve tvaru toroidu okolo vodiče. Jedná se o lineární senzor s vysokou přesností, který dokáže měřit ve velkém rozsahu. Nevýhodou je poté nutnost použití integračního prvku. Hlavní odlišnost Rogowského cívky od proudového transformátoru z pohledu závislosti jednotlivých veličin spočívá v závislosti okamžitého výstupního napětí na okamžitém vstupním proudu. [11]



(a) Schéma včetně integračního prvku [12]

(b) Digitální měřič s Rogowského cívkou [22]

Obr. 16) Znázornění Rogowského cívky

Napětí měřené Rogowského cívkou se poté vypočítá podle rovnice (17):

$$u_2 = M \cdot \frac{di}{dt} \quad (17)$$

kde u_2 ... okamžité výstupní napětí [V]

M ... konstanta určující magnetické vlastnosti cívky

Ze zmíněného měřeného napětí se dále dopočítává proud dle Ohmova zákona.

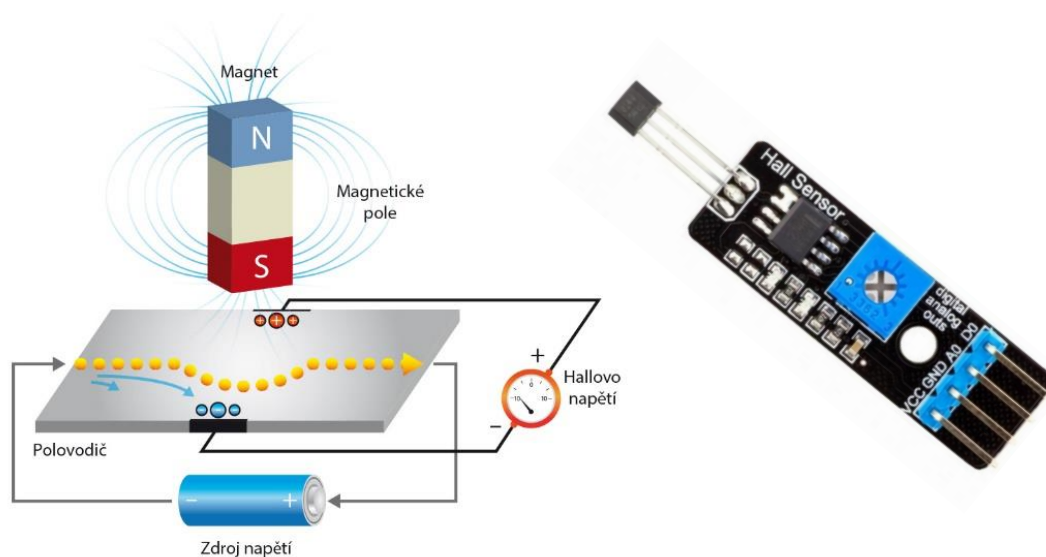
Další často využívanou metodou snímání hodnot elektrického proudu pomocí elektrického napětí je Hallova sonda. Hallův jev je zobrazen na Obr. 17). Jeho využití najdeme i v měření magnetické indukce. Pomocí této metody lze měřit proudy velkých rozsahů, přibližně od 1 mA do 1 MA. Nevýhodou využití Hallovovy sondy je, že můžeme měřit střídavý proud pouze do kmitočtu přibližně 25 kHz. Celý princip spočívá ve vložení polovodičové

destičky do magnetického pole, necháme-li příčně přes destičku protékat elektrický proud, nalezneme na opačných stranách destičky tzv. „Hallovo napětí“. [5] Velikost zmíněného napětí určíme následující rovnicí:

$$U_H = k \cdot I \cdot B \quad (18)$$

kde	U_H	...	Hallovo napětí mezi jednotlivými konci polovodičové desky [V]
	k	...	Hallova konstanta [$\text{m}^3 \text{A}^{-1} \text{s}^{-1}$]
	I	...	proud protékající obvodem [A]
	B	...	magnetická indukce [T]

Schematické zapojení při zjišťování velikosti elektrického napětí můžeme nalézt na Obr. 17).



(a) Schéma Hallova jevu [13]

(b) Hallův senzor [23]

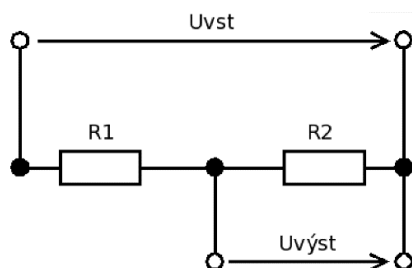
Obr. 17) Grafické znázornění Hallova jevu

3.2.2 Snímání napětí u digitální soustavy

Snímání elektrického napětí na rozdíl od elektrického proudu je o dost jednodušší. Neboť AD převodník, který je v obvodu umístěný za sondou snímající napětí, je napětím ovlivňován. Tudíž nemusíme napětí nikterak vypočítávat. Jediné, čemu musíme při snímání napětí věnovat pozornost, je rozsah AD převodníku, potažmo rozsah celého obvodu. Proto ve většině případů musíme použít napěťový dělič (označován i jako dělič napětí), který pomáhá udržovat vstupní napětí v určitých tolerancích vhodných pro měřicí integrovaný obvod. Samotná konstrukce odporového děliče je jednoduchá a je znázorněna na Obr. 18). U použitých rezistorů musíme

dbát na disipovaný výkon, aby se teplota rezistorů neměnila a neovlivňovala tím výsledky případného měření. [8] Výstupní napětí vypočítáme rovnicí (19):

$$U_{vys} = U_{vst} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (19)$$



(a) Schéma [8]



(b) Ilustrační obrázek senzoru stejnosměrného napětí [22]

Obr. 18) Odporový dělič

3.2.3 Analogově digitální převodník

Při použití digitální metody měření musí být součástí zařízení nebo integrovaného obvodu tzv. AD převodník, který převádí vstupující analogové veličiny do digitální podoby. Jedná se o převádění spojitých signálů na signály reprezentované číselnými hodnotami, které je poté schopen zpracovávat mikroprocesor.

3.3 Přístroje pro měření elektrických veličin

Ampérmetry, voltmetry, wattmetry, elektroměry, ohmmetry, kmitoměry, fázoměry, galvanometry a další jsou přístroje pro měření elektrických veličin. V následujících kapitolách si detailně popíšeme první čtyři zmíněné přístroje. Není pravidlo, že by pro jednu veličinu existoval jeden měřicí přístroj. Existují i přístroje, které dokáží měřit více fyzikálních veličin najednou. V oblasti měření elektrických veličin, jako jsou napětí a proud, v současnosti převládají digitální měřicí systémy, tzv. digitální multimetry. Jedná se o zařízení, která jsou schopna spolehlivě měřit více elektrických veličin. Existuje mnoho různých druhů multimetrů, fotografie některých z nich naleznete na Obr. 19).



(a) ruční multimetr



(b) stolní multimetr



(c) klešťový multimetr

Obr. 19) Multimetry [33]

3.3.1 Měření proudu

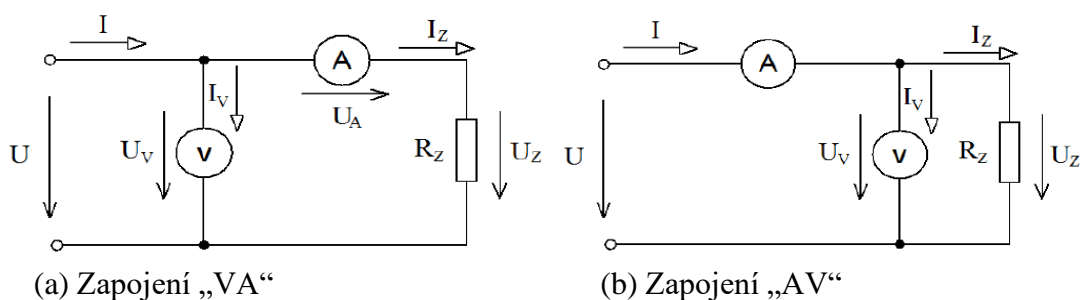
Přístroje pro měření elektrického proudu se nazývají ampérmetry. Zapojují se vždy do série s ostatními prvky obvodu, který hodláme měřit. Ideální ampérmetry mají nekonečně malý vnitřní odpor, v praxi se jejich odpor snažíme snížit co nejvíce. Tím pádem nesmíme nikdy ampérmetr zapojit paralelně, jelikož kvůli minimálnímu odporu jím začnou procházet velké proudy a ampérmetr se zničí. Speciálně u magnetoelektrických ampérmetrů se „spálí“ vnitřní vinutí měřicí cívky nebo může dojít k poškození direktivních pružin. [32]

K měření stejnosměrných proudů analogovými přístroji se používají téměř výhradně přístroje s magnetoelektrickým ústrojím. K měření efektivní hodnoty střídavých proudů ve většině případů přístroje s feromagnetickým ústrojím. Při měření proudů větších jak 10 A lze u střídavých proudů zvětšit rozsah měřicích přístrojů předřazením bočníku, změnou počtu závitů měřicí cívky ve feromagnetické soustavě nebo použitím měřicích transformátorů, které měřicí obvod galvanicky oddělí od obvodu primárního. Použít lze i zařízení pracující na principu Hallova jevu. [5]

3.3.2 Měření napětí

Přístroje určené pro měření elektrického napětí se nazývají voltmetry. Zapojují se vždy paralelně s prvkem obvodu, na kterém chceme napětí měřit. Ideální voltmetry mají nekonečně velký odpor. V praxi se snažíme, aby odpor voltmetru byl co největší, jelikož chceme, aby měření co nejméně ovlivňovalo proud protékající měřeným prvkem obvodu. Přetížení přístroje nastává, připojíme-li voltmetr do obvodu s vyšším napětím, než je zvolený rozsah přístroje. Magnetoelektrické přístroje, s nimiž měříme stejnosměrný proud a elektrodynamické přístroje používané pro měření hodnot u střídavých proudů jsou na přetížení velice citlivé, jelikož jejich měřicí cívky jsou vinuty z tenkého vodiče a vlivem přetížení může dojít k poškození izolace nebo dokonce ke „spálení“ vodiče. Dalším možným použitelným ústrojím pro měření střídavých napětí jsou feromagnetické přístroje, které jsou vůči přetížení odolnější, jelikož jejich měřicí cívka je pevná a může být daleko více dimenzovaná. Pokud nevíme, jak velké napětí je v měřeném obvodu, nastavíme vždy přístroj na co možná největší rozsah a teprve po připojení měřiče do obvodu zvolíme rozsah nižší. Pro přímé měření u vysokých napětí ($U > 1 \text{ kV}$) se používá elektrostatická soustava. Její výhoda spočívá v nezávislosti výchylky na kmitočtu, tudíž se dá použít v oblastech, jako jsou například dielektrické ohřevy (svařování folií, sušení dřeva). [32]

Pro praktická měření se výrobci snaží zvyšovat rozsah měřicích zařízení, aby přístroje měly co největší oblast využití. Zvětšit měřicí rozsah u voltmetrů můžeme přidáním předradníku, odporového děliče, předradného kondenzátoru, kapacitního děliče, nebo přidáním měřicího transformátoru. [5]

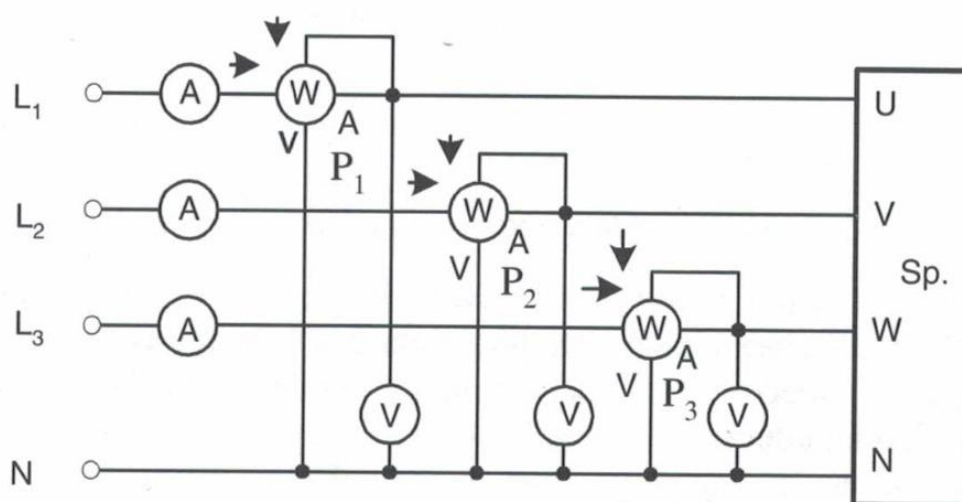


Obr. 20) Zapojení voltmetru a ampérmetru při měření nepřímou metodou v stejnosměrné soustavě [32]

3.3.3 Měření výkonu

Přístroje určené pro měření elektrického výkonu se nazývají wattmetry. Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.1, je patrné, že výkon ve stejnosměrné soustavě lze změřit i bez použití wattmetru. Stačí nám pouze změřit napětí na zátěži a proud, který jí protéká. Následně vynásobením těchto hodnot dostaneme velikost zkoumaného výkonu. Zmíněný voltmetr a ampérmetr lze zapojit dvěma způsoby, jak je znázorněno na Obr. 20). Při zapojení „VA“ ampérmetr měří proud procházející rezistorem R_z a voltmetr měří úbytek napětí na rezistoru i ampérmetru. Úbytek napětí na ampérmetru je malý a ve většině měření se dá zanedbat. Potřebujeme-li měřit s větší přesností lze udělat matematickou korekci z naměřených hodnot. Při zapojení „AV“ ampérmetr měří proud protékající jak zátěží, tak ampérmetrem a voltmetr měří úbytek napětí na rezistoru R_z . Proud protékající voltmetrem je velmi malý a při většině měření lze takto vypočtenou hodnotu z ampérmetru brát za správnou. Při přesnějších měřeních lze udělat korekci, a tudíž tuto nepřesnost způsobenou zapojením odstranit. [5]

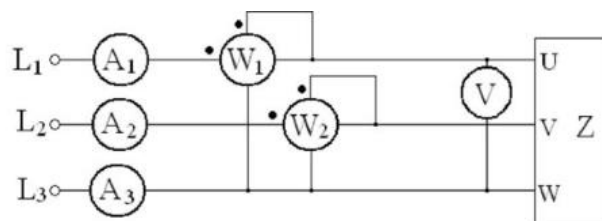
Při měření výkonů ve střídavé soustavě jsou u analogových metod většinou používány elektrodynamické, zřídka feromagnetické soustavy. Každý wattmetr má jednu proudovou a jednu napěťovou cívku. Mohutné svorky proudové cívky bývají většinou dimenzované na velké proudy, svorky napěťových cívek nepotřebují být natolik robustní a většinou jsou v podobě „banánků“ paralelně zapojeny do obvodu. Při měření výkonu v třífázové soustavě je výkon dán součtem výkonů jednotlivých fází. Je tedy dobré vědět, jestli je soustava symetrická, nebo nesymetrická a zda je zátěž souměrná či nikoliv. Příkladem symetrické napěťové sítě je domácnost či škola, v takových sítích je napětí stejně velké ve všech třech fázích a úhly mezi jednotlivými fázory jsou 120° . Při měření v těchto sítích nám pro kontrolu velikosti napětí obvykle postačí pouze jeden voltmetr. Nesymetrické sítě se vyskytují především v těžkém průmyslu, u indukčních a obloukových pecí. V nesymetrické čtyřvodičové soustavě využijeme třech wattmetrů, měřících výkon v každé fázi. Zapojení je zobrazeno na Obr. 21). Do obvodu jsou přidány ampérmetry pro kontrolu velikosti proudu a nastavení rozsahu proudové cívky. Voltmetry slouží ke korekci vlastní spotřeby měřících přístrojů a ke správnému nastavení rozsahu u napěťové cívky. [24]



Obr. 21) Zapojení pro měření trojfázového výkonu v nesymetrické soustavě [24]

V třívodičové soustavě se velice často měří za pomoci vytvoření tzv. umělé nuly. Ta se vytvoří spojením konců napěťových cívek všech tří wattmetrů, podmínkou však je, aby

wattmetry měly tento odpor stejný. Podle Blondelova teorému můžeme při měření výkonu v nesouměrné trojfázové soustavě použít pouze dva wattmetry. Blondelův teorém říká, že při měření činného výkonu v n -vodičové soustavě, můžeme činný výkon měřit správně nejméně $n-1$ wattmetry. V třívodičové soustavě se pro měření činného výkonu využívá tzv. Aronova zapojení. Zapojení je znázorněno na Obr. 22). [24]

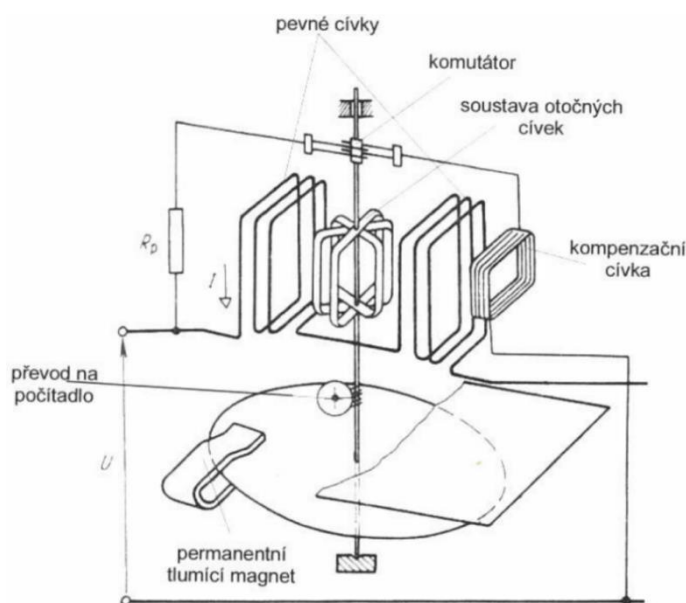


Obr. 22) Aronovo zapojení [5]

3.3.4 Elektroměry pro stejnosměrný proud

Pro měření spotřeby v systémech se stejnosměrným proudem se používají jak točivé měřicí přístroje, jenž se v dnešní době považují za poněkud zastaralé, tak přístroje modernějšího typu tzv. netočivé. Zástupcem analogových točivých měřicích přístrojů je integrační přístroj s elektrodynamickým měřicím ústrojím zobrazený na Obr. 23). Základní princip je podobný jako u stejnosměrného motoru. Budící magnetické pole je vytvářeno dvěma cívkami, kterými protéká proud odebíraný ze sítě. Otočná soustava je připojena na dvojici kartáčů a tvoří ji skupina otočných cívek (nejčastěji trojice cívek) spojených s komutátorem. Komutátor je velice důležitý, jelikož dokáže měnit směr proudu v otočných cívkách, a tím pádem se soustava nezastaví po provedení půlotáčky. Dále je v systému použita tzv. kompenzační cívka vyvolávající při konstantním napětí sítě střídavý moment, který vyrovnává momenty tření celého ústrojí. [5]

V praxi se tyto elektroměry používají velice zřídka, jelikož staré stejnosměrné rozvodné sítě byly nahrazeny střídavými rozvodnými sítěmi. Tento typ elektroměrů se v dnešní době vyskytuje už jen ve výjimečných případech. Tento druh elektroměru lze jednoduše nahradit elektroměrem digitálním se speciálním integrovaným obvodem a správným nastavením. [7]



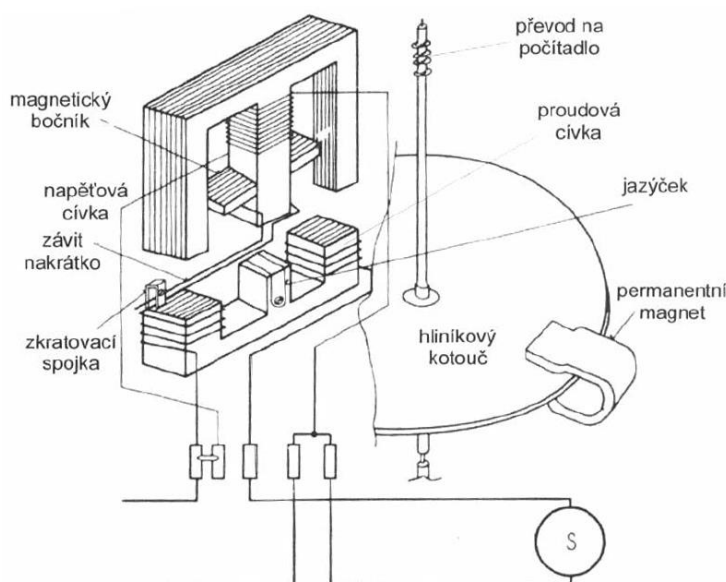
Obr. 23) Základní schéma wathodinového elektroměru [5]

3.3.5 Točivé analogové elektroměry na měření střídavého proudu

Jak už bylo zmíněno v kapitole 2.1, budeme se zabývat především elektroměry pro měření činné práce. Stejně jako u stejnosměrného proudu budeme popisovat točivé a netočivé způsoby měření elektrické spotřeby.

Příkladem točivého analogového elektroměru je indukční elektroměr, který je znázorněn na Obr. 24). Jedná se o jednofázový měřicí přístroj fungující na principu elektromagnetické indukce. Pracuje na podobném základě jako asynchronní motor s kotvou nakrátko. Elektroměr se skládá ze dvou elektromagnetů, jež vzájemně působí na hliníkový kotouč. Hliníkový kotouč se otáčí vzhledem k velikosti procházejících proudů, potažmo velikosti pohybového momentu. Pomocí šnekového kola se otáčky přenášejí na počítací mechanismus. [5]

Trojfázový elektroměr se od jednofázového liší v počtu magnetických ústrojí, jež má pochopitelně tři. Jednotlivá magnetická ústrojí působí na dva, nebo tři hliníkové kotouče umístěné na společné ose. V průběhu let se u těchto typů elektroměrů výrazně zlepšila přesnost, mírně se upravil tvar, ale princip zůstal stejný. Od tohoto typu elektroměru se již v dnešní době upouští a začíná se využívat elektroměrů elektronických, tedy speciálních integrovaných obvodů. [7]



(a) Schéma



(b) Ilustrační obrázek

Obr. 24) Točivý analogový elektroměr pro střídavý proud [5]

3.3.6 Digitální metody měření spotřeby elektrické energie

Pod pojmem digitální elektroměry se skrývají přístroje s velkou přesností měření. Nejdříve našly uplatnění v měření velmi vysokých napětí nepřímou metodou přes transformátory. Avšak poslední roky nahrazují ve velké míře své předchůdce, točivé indukční elektroměry, které už jsou dnes na hranici svých technických možností. Vzhledem ke klesající ceně elektrosoučástek se již po 20 let nahrazují i u maloodběratelů. Jeden ze zástupců statických elektroměrů je elektronický impulzní elektroměr. Místo počítání otáček kotouče se zde kalkuluje s počtem impulzů elektronického wattmetru, konstanta elektroměru je dána v impulzech na 1 kWh. [7] Jako zástupce těchto digitálních elektroměrů můžeme brát přístroj Diris A10, který je detailně popsán v kapitole 5.5.

Vzhledem k přístrojům, které zamýšlíme zapojovat do elektrické sítě a složitostí či velikosti samotné sítě musíme rozhodnout, zdali je za potřebí kontrolovat i kvalitu parametrů elektrických veličin, jež jsou požadovány. Novodobé přístroje jsou velice citlivé na případné přepětí nebo jiné odchylky sítě. Ty následně zapříčiňují rychlejší opotřebování nebo v krajních případech i znehodnocení celých zařízení. Dodavatel elektrické energie je povinen dodávat elektřinu dle stanovených norem, avšak parametry vnitrofiremní sítě výrazně ovlivňují přístroje, které jsou do ní zapojeny. O systémech pro detailní sledování kvality se bude pojednávat v kapitole 3.3.7.

Jestliže firemní management vyhodnotí, že detailní sledování kvality sítě nepřináší žádné benefity, je vhodné pro určování spotřeby v průmyslových závodech použít statické indukční elektroměry, jako je například model Countis E44 od firmy Socomec. Zařízení je znázorněno na Obr. 25). Trojfázový měřič činné energie dovoluje nepřímé měření elektrického proudu do jmenovité hodnoty střídavého proudu 12 000 A pomocí měřicích transformátorů. Pro dálkové oznamování výsledků měření je zde zabudována sběrnice RS485 s protokolem Modbus nebo M-BUS. Tento elektroměr je určen pro velkoodběratele elektrického proudu jako například velké výrobní závody či automatizované velkokapacitní sklady. [18]

Pro méně zatížená odběrná místa postačí elektroměr s menším rozsahem měřicího proudu. Jako příklad může sloužit elektroměr A44-213-100 od firmy ABB. Jedná se o trojfázový měřič, který je obvykle umístěn na DIN liště. Je určený pro měření elektrické spotřeby střídavých proudů do hodnoty proudu 80 A, přičemž spotřeba samotného elektroměru je velice nízká, podle výrobce spotřeba nepřekročí 0,8 VA. Data naměřené elektroměrem lze přenášet přes sběrnici RS-485 s protokolem M-BUS k dalšímu vyhodnocování. Výrobce uvádí maximální chybu měření spotřebované energie do 1% naměřené hodnoty. Přístroj je zobrazen na Obr. 25).



(a) Elektroměr Countis E44 [18]



(b) Elektroměr ABB A43-213-100 [39]

Obr. 25) Elektroměry

Obecně platí, že velkou výhodou elektronických impulzních elektroměrů je, že nabízejí měření podstatně většího množství veličin, a tím zvětšují informovanost dodavatele o struktuře odebíraného proudu. Další výhodou je podstatně menší odběr, než tomu bylo u systémů analogových, a to i při přepínání tarifů u více tarifních přístrojů, tudíž se snižují technické ztráty v rozvodných sítích. Moderní digitální přístroje umožňují i automatický a dálkový odečet

pomocí různých typů komunikačních rozhraní, což je základem pro centralizovaný sběr a vyhodnocování dat. Při růstu nelineárních spotřebičů (například pulzně řízených zdrojů u PC), umožňují indukční přístroje správné měření elektrické energie i při zkreslených průbězích napětí a proudu. [7]

Pro úplnost je třeba zmínit existenci samostatných zařízení pro měření spotřeby elektrické energie, která se upevní například do zásuvky. Přínos těchto zařízení je zřejmý, díky nim je možné jednoduše měřit aktuální elektrický výkon a celkovou spotřebu elektrických zařízení připojených do sítě v jednotlivém bodě. Naměřené hodnoty jsou zobrazované na displeji umístěného na přední straně zařízení. Nevýhodou u těchto přístrojů je, že naměřené hodnoty nejde většinou dále elektronicky přenášet a zpracovávat. Na Obr. 26) jsou pro představu znázorněna zařízení od firmy Voltcraft a Solid. Přístroje jsou dimenzovány na příkony zhruba do 3 500 W v jednofázové soustavě střídavého proudu. [34]



Obr. 26) Samostatná zařízení pro měření spotřeby elektrické energie [34]

Kromě tradičních indukčních elektroměrů mohou být pro měření elektrické energie použity speciální obvody pro sběr dat. Jedná se o obvody, které snímají a zpracovávají elektrický signál. Vyhodnocování samotného signálu je realizováno pomocí mikročipu nebo speciálního obvodu přesně designovaného pro dané měření. Lze využít i virtuální způsob zpracovávání dat, kdy je vytvořen měřicí program ve vhodném programovacím prostředí. Systémy pro pořizování dat jsou detailně popsány v kapitole 4.

Další digitální metodou měření spotřeby elektrické energie jsou analyzátory elektrických sítí. Jelikož narůstající složitost elektrických zařízení, uchovávání a prezentace informací zvyšuje nároky na diagnostiku jakosti elektrických sítí, existuje potřeba testování statických i dynamických parametrů, aby nedocházelo k výpadkům a elektrická síť v podniku splňovala požadované parametry. Vyrábí se mnoho druhů analyzátorů elektrické energie, které se od sebe liší vzhledem k použití v praxi. V zásadě můžeme analyzátory elektrické sítě rozdělit na přenosné a trvale instalované. Přenosné analyzátory jsou používány pro rychlé měření parametrů v distribuční soustavě. Musí být kompaktní a lehce přenositelné. Přenos dat do PC ve většině případů probíhá přes USB. Na Obr. 27) je znázorněn přenosný třífázový analyzátor elektrických sítí C.A 8436. Je to nástroj pro rychlé a efektivní měření parametrů s cenou okolo 130 000 Kč.



Obr. 27) Přenosný třífázový analyzátor elektrických sítí C.A 8436 [35]

Trvale instalované analyzátoři jsou určeny, jak už název vypovídá, pro kontinuální měření a vyhodnocování kvality elektrické energie ve významných uzlech distribuční soustavy. Obvykle jsou instalovány na předávacím místě v rozvodnách mezi dodavatelem a odběratelem elektrické energie. Konstrukce se ve většině případů podřizuje místu, na kterém je přístroj umístěn. Na Obr. 28) je vyobrazen přístroj od společnosti Elcom určený ke kontinuálnímu měření a analýze elektrických sítí. Přístroj kalkuluje parametry jakosti elektřiny dle ČSN EN 50160 a splňuje požadavky na vyhodnocení měření dle normy IEC 61000-4-30 Třídy A a dalších (61000-4-7; 61000-4-15). [38]



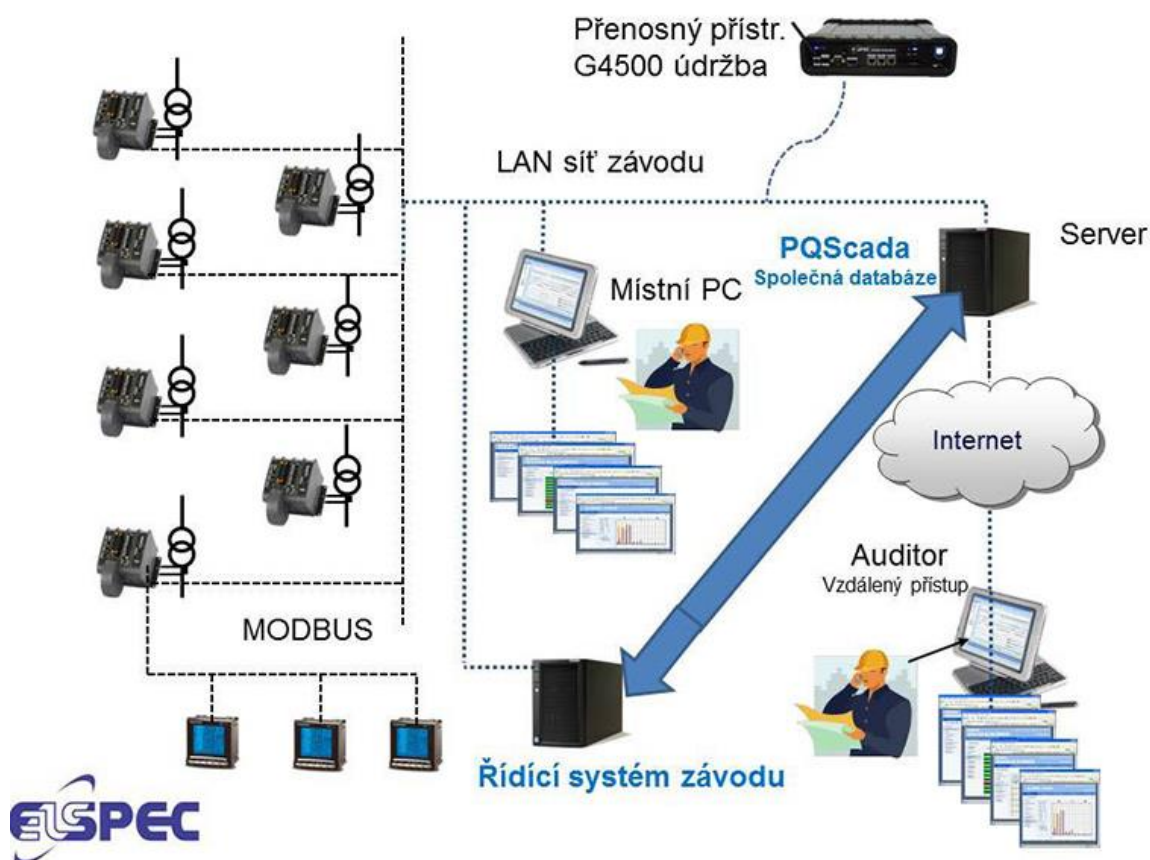
Obr. 28) Analyzátor ENA441 [38]

V současnosti se měření elektrické energie ubírá směrem tzv. „chytrého měření“, odečet samostatného elektroměru se provádí na dálku, což umožňuje získávat data prakticky kdykoli, a tím i zlepšovat analýzy spotřebované činné energie. V budoucnu bude možné, aby odběratel elektrické energie mohl sledovat svůj odběr v PC, a díky tomu i vyhodnocovat, případně regulovat svoji spotřebu. Dodavateli elektrické energie pak tyto data umožní lépe vyhodnocovat aktuální zatížení sítě. [7]

3.3.7 Systémy pro kontinuální měření a sledování kvality rozvodné sítě

S rostoucí komplexností strojů v průmyslových závodech je velice důležité sledovat kvalitu rozvodné sítě, tedy hodnoty parametrů, které by měly být v souladu ze standardy pro bezchybné fungování napájených strojů. Norma ČSN EN 50160 nám slouží k normalizaci a ověření kvality ve vztahu dodavatel – odběratel. Deklarace vyhovující kvality elektrické rozvodné sítě od distributora však není nikterak vypovídající o kvalitě rozvodné sítě v podniku samotném, jelikož ta je ovlivněna odběry připojených zařízení a strojů. Zařízení způsobují kolísání napětí a další negativní jevy, které se následně mohou projevit výpadky PLC a automatů či oteplováním transformátorů a motorů. Nekvalita poškozuje i elektroniku a může způsobit i výpadky počítačových sítí. V důsledku nekvalitní vnitropodniková rozvodná síť způsobuje firmě nemalé finanční ztráty.

Jedna z možností, jak zabránit náhodným výpadkům, je pořízení si kvalitního monitorovacího systému. Systém sleduje průběh veličin periodu po periodě, aby nedocházelo k významnému zkreslování výsledků měření. Většina systémů pro kontinuální měření a sledování kvality se skládá z jednotlivých elektroměrů umístěných na předem definovaných vhodných místech spojených s centrální vyhodnocovací jednotkou. Zobrazovací software pro takovýto systém je velice podobný systémům SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), který sbírá data o procesech a promítá je na centrální pracoviště. Tento systém umožňuje rychlé řešení výpadků, jelikož pracovníci jsou informováni, kde přesně se nachází vzniklá závada. Jako příklad lze uvést systém od firmy Elspec se softwarem PQSCADA (Sapphire, struktura systému je znázorněna na Obr. 29). [37]



Obr. 29) Systém komplexního monitoringu elektrické sítě [37]

3.4 Vyhodnocování měření

Každé měření, které je provedeno, obsahuje určitou chybu či neurčitost naměřené hodnoty. Chyby se v zásadě rozdělují do tří skupin. Hrubé chyby, které vznikají hlavně nepozorností obsluhy měřicích přístrojů, špatným odečtením hodnot na měřicím přístroji, špatným zapojením měřicích přístrojů nebo nedodržením správného postupu měření. Těchto chyb se můžeme vyvarovat více měřeními, střídáním obsluhy měřicích zařízení a následným porovnáním výsledků. Ve většině případů je tato chyba odhalitelná a odstranitelná. Dále ji již nezahrnujeme do hodnocení chyby měření. Chyby náhodné jsou způsobeny jevy, u kterých nejsme schopni odhalit závislost na příčinách. Jedná se o nedefinovanou chybu a lze ji vyloučit opakovaným měřením. Tato složka chyby měření se v případě opakování měření mění nedefinovaným způsobem. Chyby systematické jsou způsobené nedokonalostí měřicích přístrojů. I když obsluha bude správně odečítat hodnoty z přístroje, výsledek měření ponese určitou chybu. Tuto chybu nelze odhalit opakovaným měřením. Jedná se o technologickou či metodickou nedokonalost, kterou musíme zohledňovat při udávání výsledků u každého měření. [19]

Při uvádění výsledku měření je nutné uvést kvantitativní údaj o kvalitě výsledku ve formě nejistoty [19]. Myšlenka o zavedení jednotného chápání nejistoty měření vznikla již v roce 1977 a v roce 1993 byla vydána první příručka pro určování nejistoty Mezinárodní organizací pro normalizaci (ISO). Výsledek měření se uvádí ve tvaru:

$$\Delta = \bar{x} \pm U \quad (20)$$

kde Δ ... míněný výsledek
 \bar{x} ... aritmetický průměr
 U ... rozšířená nejistota

Rozšířená nejistota se zaokrouhluje vždy nahoru a určuje se podle rovnice (21):

$$U = k \cdot u_c \quad (21)$$

kde k ... koeficient rozšíření
 u_c ... kombinovaná standardní nejistota

Koeficient rozšíření závisí na typu rozdělení pravděpodobnosti (Gaussovo, Poissonovo...) výstupní veličiny. Udává, s jakou pravděpodobností daný interval pokrývá soubor pravých hodnot měřené veličiny x . Kombinovaná standardní nejistota je potom určena dle rovnice (22):

$$u_c = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} \quad (22)$$

kde u_a ... standardní nejistota typu A
 u_b ... standardní nejistota typu B

Standardní nejistota typu A je způsobena kolísáním naměřených hodnot a vypočítává se z opakovaně naměřených hodnot. Velikost standardní nejistoty typu A klesá s počtem měření n , jestliže budeme uvažovat nezávislé, nekorelované hodnoty, poté se standardní nejistota typu A vypočítá stejně jako směrodatná odchylka z výběrového průměru dle rovnice (23):

$$u_a = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (23)$$

kde $s(\bar{x})$... směrodatná odchylka výběrového průměru
 x_i ... naměřené hodnoty
 n ... počet měření

Tento vztah lze použít pouze pro $n > 10$, pro menší počet měření není tento výpočet spolehlivý a musí se korelovat.

Standardní nejistota typu B není závislá na opakování měření, ale určuje se standardizací z uvažovaných zdrojů nejistot z_j jako jsou:

- nejistoty uvedeny v kalibračních listech, certifikacích, ověřených listech etalonů a stanovených měřidel,
- specifikace dodávaná výrobcem měřidla,
- předchozí zkušenosti z měření,
- nejistoty přiřazené z příruček pro dané měření a doporučených měřicích postupů.

Pro přímé měření jediné veličiny se výsledná uvažovaná nejistota typu B vypočítává dle rovnice (24):

$$u_b = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{zj}^2} \quad (24)$$

kde u_{zj} ... zdroje nejistoty

Uvažované zdroje nejistoty se vypočítají dle rovnice (25):

$$u_{zj} = c_j \cdot \frac{\Delta z_{\max j}}{\chi} \quad (25)$$

kde c_j ... koeficient citlivosti

$\Delta z_{\max j}$... rozsah odchylek od jmenovité hodnoty

χ ... koeficient rozdělení pravděpodobnosti

U uvažovaných zdrojů nejistoty se poté odhadne rozsah odchylek tak, aby překročení takových hodnot bylo málo pravděpodobné. Dále se určí rozdělení pravděpodobnosti a koeficient citlivosti.

V případě určování standardní nejistoty typu B u elektroměrů pro maloodběratele se většinou uvažuje údaj daný výrobcem měřidla. Jedná se o tzv. „třidu přesnosti“ vynásobenou aritmetickým průměrem naměřené hodnoty. Třída přesnosti je obvykle uvedena na označovacím štítku přímo na měřidle bez značky „%“ a vypočítává se z mezní absolutní chyby přístroje a největší hodnoty měřicího rozsahu podle vzorce (26):

$$\delta_{TP} = \frac{\Delta_m}{X_R} \cdot 100 \quad (26)$$

kde δ_{TP} ... třída přesnosti [%]

Δ_m ... mezní (maximální) absolutní chyba přístroje

X_R ... největší hodnota měřicího rozsahu

Jedná se o největší možnou vzniklou procentuální chybu již se může daný přístroj dopustit. Je způsobena řadou vnitřních rušivých vlivů, tedy nedokonalostmi přístroje. U analogových přístrojů rozeznáváme třídy přesnosti 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5. [5]

Elektroměry jsou podle českého práva stanoveným měřidlem a jejich uživatel, nejčastěji dodavatel elektrické energie, je povinen na svoje náklady zajistit ověření měřidla minimálně jednou v zákonem stanovené lhůtě. Konkrétně je toto určeno v zákoně č. 505/1990 Sb. § 3, v odstavci 3, jako měřidlo pro stanovení sankcí, poplatků, tarifů a daní. Dále Vyhláškou Ministerstva průmyslu a obchodu č. 345/2002 Sb. Ověřené měřidlo musí být označeno plombou podle zákonných předpisů nebo symbolem shody „CE“ a doplňkovým metrologickým označením. Ověření stanoveného měřidla může provádět pouze ČMI (Český metrologický institut) nebo firmy či subjekty, které byly oprávněny k takovýmto výkonům od Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Seznam Autorizovaných metrologických středisek (AMS) lze nalézt na internetových stránkách Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. [20]

3.4.1 Neurčitost měření při použití číslicových přístrojů

Podstatnou část neurčitosti typu B při použití číslicových přístrojů vytváří AD převodník, který převádí analogový signál na digitální. Jedná se o nový zdroj nejistoty, jenž se u analogových přístrojů nevyskytoval. Je to důsledkem konečného počtu kvant veličiny, se kterou převodník pracuje, protože přímo srovnává měřenou veličinu s normálovou, odstupňovanou do svých násobků. Například při rozsahu ± 10 V a 16bit AD převodníků se kvantizační krok vypočítá dle rovnice (27):

$$Q = \frac{X_R}{2^n - 1} = \frac{10 - (-10)}{2^{16} - 1} = 3,0518 \cdot 10^{-4} \text{ V} \quad (27)$$

kde Q ... kvantizační krok [V]

n ... rozlišovací schopnost AD převodníku [bit]

Kvantizační chyba může dosahovat polovinu kvantizačního kroku. Při měření s menšími vstupními rozsahy se kvantizační chyba zmenšuje. Dále je potřeba veličinu zaokrouhlit, jelikož odčítání probíhá na displeji s konečným počtem míst.

Základní nejistota typu B u číslicových přístrojů se tedy skládá ze dvou hlavních složek. Chyby v procentech reálné hodnoty, jako tomu bylo u analogových přístrojů popsáno v rovnici (26), a chyby v procentech rozsahu dané zaokrouhlováním (tzv. kvantováním). [24]

4 SYSTÉMY PRO POŘIZOVÁNÍ DAT

Data Acquisition Systems (DAQ), tedy systémy pro pořizování dat jsou zařízení hojně využívaná v procesu měření fyzikálních jevů a veličin jako jsou: hodnoty napětí, proudu, teploty nebo zvuku za pomoci počítače či podobného automatického přístroje. Samotný systém DAQ se skládá ze senzorů pro měření dané veličiny, DAQ hardwaru neboli platformy a přístroje se speciálním softwarem pro ukládání naměřených hodnot či vizualizace procesu získávání dat. Automatické DAQ systémy nám poskytují základní procesní výkon a efektivitu zároveň s potřebnou flexibilitou nezbytnou pro komerční využití. [14]

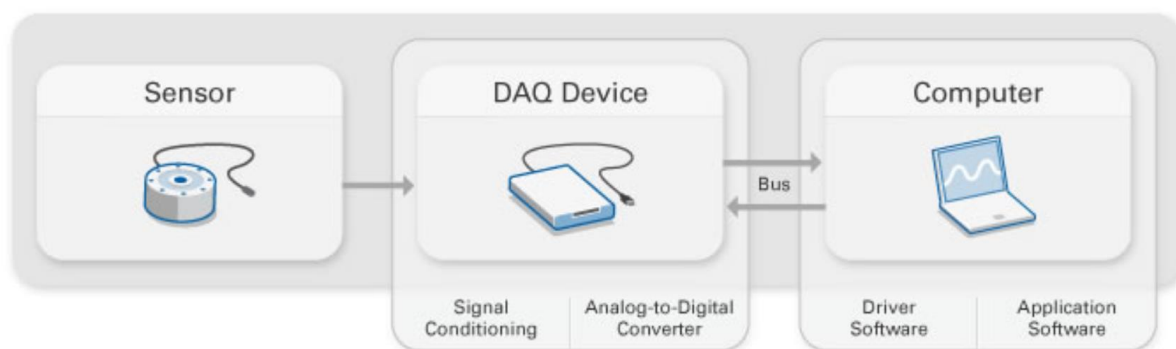
4.1 Komponenty DAQ systémů

Hlavní komponenty vybíráme na základě specifického druhu a velikosti fyzikálního jevu, jenž se chystáme měřit. Pro každý fyzikální jev je potřeba přemýšlet nad účelným sestavením a konfigurací celého systému. Obr. 30) znázorňuje hlavní části při komplexním dělení prvků DAQ systémů, specificky to jsou z pohledu hardwaru:

- senzory,
- DAQ platforma,
- počítačová sběrnice,
- počítač.

Z pohledu Softwaru:

- softwarové ovladače,
- aplikační software,
- formát ukládání dat,
- nástroj pro analýzu dat,
- vizualizační nástroje,
- nástroj pro reportování zpráv.



Obr. 30) Hlavní části DAQ systémů [14]

4.1.1 Senzory

Měření fyzikálního jevu vždy začíná senzorem. Fyzikálním jevem myslíme například teplotu v místnosti, intenzitu světelného zdroje nebo sílu aplikovanou na objekt. Senzor můžeme nazývat také převodníkem, převádí fyzikální jev na měřitelný elektrický signál. V závislosti na typu senzoru může být jeho elektrickým výstupem napětí, proud, odpor nebo jiný elektrický atribut,

který se v průběhu času mění. Některé senzory mohou vyžadovat další komponenty a obvody, aby správně vytvořily signál, který lze přesně a bezpečně zpracovávat zařízením DAQ.

4.1.2 Platforma systémů pro pořizování dat

DAQ platforma, tedy hardware, funguje jako rozhraní mezi počítačem a signály z vnějšího okolí. Platforma má funkci zpracovávacího zařízení, které digitalizuje příchozí analogové signály, aby je mohl počítač interpretovat. Nebo naopak přijímá digitální signál přicházející například z PC a vysílá signál analogový. Čtyřmi klíčovými komponenty zařízení DAQ platformy používané pro měření signálu jsou: obvody vstupní upravující signál, analogové digitální převodník (Analog to Digital converter – ADC), procesor a počítačová sběrnice. Mnoho zařízení DAQ zahrnuje další funkce pro automatizaci měřicích systémů a procesů. Například digitální analogové převodníky (Digital-to-analog converters – DAC) vytváří analogové signály, digitální I/O linky vstupují a vystupují digitální signály a čítače / časovače počítají a generují digitální impulsy. [14]

Vstupní obvody upravují signál na přijatelný pro AD převodník, jelikož příliš vysoké napětí nebo proud by ho mohly poškodit. Tyto obvody mohou signály zesílit, utlumit, filtrovat nebo izolovat. Některá zařízení DAQ zahrnují vestavěnou úpravu signálu určenou pro měření specifickými typy senzorů. Po přizpůsobení signálu se analogové signály ze senzorů převádějí na digitální, aby mohly být zpracovávány v digitálních zařízeních, jako je například počítač. [14]

AD převodník je čip, který poskytuje znázornění digitální hodnoty z analogového signálu v reálném čase. V praxi se analogové signály v čase průběžně mění a AD převodník odebírá „vzorky“ signálu předem stanovenou rychlostí. Tyto vzorky jsou přeneseny do procesoru a následně do počítače přes sběrnici, kde je původní signál zpracováván ve vhodném softwaru. [14]

DAQ platforma se připojuje k počítači prostřednictvím slotu nebo portu. Sběrnice slouží jako komunikační rozhraní pro předávání pokynů a měřených dat mezi DAQ platformou a počítačem. Platformy používají ty nejběžnější počítačové sběrnice, například USB, PCI, PCI Express a Ethernet. Nedávno byla vyvinuta i DAQ platforma s plně bezdrátovou komunikací Wi-Fi, protokolem 802.11. Existuje mnoho typů sběrnic a každý nabízí různé výhody pro různé typy aplikací. [14]

4.1.3 Počítač a software

Počítač s programovatelným softwarem řídí činnost DAQ platformy. Jeho účelem je zpracovávat, vizualizovat a ukládat naměřená data. Výběr vhodného počítače se určuje podle náročnosti měření. Robustní průmyslový počítač je velice vhodný, jestliže nám záleží na bezproblémovém chodu při měřeních ve výrobním závodě. Je tomu tak vzhledem k jeho stabilitě chodu a krytí proti vnějším vlivům (např. elektromagnetické krytí, prachuvzdornost). Ovšem naměřené hodnoty lze zpracovávat ve stolních PC nebo laptopech.

Softwarové ovladače umožňují propojit (integrovat) DAQ platformu s aplikačním softwarem. Zjednodušují komunikaci s DAQ platformou tím, že abstrahují nízko úrovněvé hardwarové příkazy a programování na úrovni registrů. Softwarové ovladače DAQ platformy obvykle vystavuje aplikační programovací rozhraní (application programming interface – API), které se používá v programovacím prostředí k vytvoření aplikačního softwaru. [14]

Aplikační software usnadňuje interakci mezi počítačem a uživatelem. Uživatel může získávat data, podrobovat data analýzám a následně data prezentovat. Funkčnost aplikace může

být pro uživatele již předdefinována, nebo si uživatel vytváří své vlastní funkce za použití programovacího prostředí. Vlastní aplikace jsou velmi často využívány k automatizování vícefunkční DAQ platformy, vytváření algoritmů na zpracování signálu a zobrazení uživatelského rozhraní. [14]

4.2 Platformy pro komerční využití

Platformy pro pořizování dat a virtuální instrumentaci se spolu s počítačově řízenými systémy rozšířily po celém světě. Svými parametry umožňují měření a testování široké škály fyzikálních veličin v technické praxi. Zpočátku byly DAQ systémy pouze jednoduchá mechanická zařízení, avšak s pokrokem technologie a s použitím výkonných mikroprocesorů jsou nyní používány na komplexní zpracování dat. Největšími prodejci na trhu se systémy pro pořizování dat jsou firmy Amatek Inc., Keysight Technologies a National Instruments.

4.3 National instruments

Americká firma National Instruments (NI) je průkopníkem a jedním z největších výrobců v oblasti virtuální instrumentace. Tato společnost byla založena již v roce 1976 a rozrostla se z garáže rodinného domu do velké mezinárodní korporace. Své ústředí má v americkém Austinu ve státě Texas a podle výroční zprávy z roku 2018 zaměstnává National Instruments k 31. prosinci 2018 7 263 zaměstnanců po celém světě [16].

National Instruments nabízí velké množství různých typů DAQ platforem. Důležitý je jejich výběr na základě měřené veličiny a náročnosti měření. Platformy se od sebe odlišují v počtu vstupů/výstupů, rychlosti vzorkování a zpracování i v náročnosti na následné softwarové zpracování ve vyvinutém programu. Základními typy NI platforem jsou: PXI, CompactDAQ a CompactRIO.

4.3.1 PXI

Systémy PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) jsou vhodné při náročných měřeních a testování složitých aplikací. Tedy zpracovávání velkého množství dat v reálném čase. PXI šasi poskytují napájení, chlazení, komunikační sběrnice a také ochranu před vnějšími rušivými vlivy. PXI šasi mohou mít rozdílné tvary a velikosti, avšak všechny zařízení mají časově integrované a synchronizované sloty. PXI jsou kompatibilní jednak s I/O moduly od NI, ale i moduly dalších výrobců, aby tak stoupla jejich multifunkčnost v oblasti měření a testování. Systémy PXI jsou obměnou průmyslového počítače se sběrnicí PCI, do něhož se vkládají řídicí a měřicí karty. PCI/PCI Express dokáže přenášet data 20x rychleji než LAN nebo GPIB se 100x menší latencí. Systémy mohou být použity ve spojení s vizualizačními softwary jako je například LabVIEW a další. Základními komponenty PXI systému tedy jsou PXI šasi, PXI kontrolér, PXI moduly a zpracovávací software. Celkově se dá říci, že v porovnání s ostatními platformami PXI zajišťuje nejvyšší výkon s menšími nároky na následný vývoj. Nevýhodou platformy jsou potom její velké rozměry a vysoká pořizovací cena. Jeden z možných druhů přístroje je vyobrazen na Obr. 31).



Obr. 31) PXI platforma [14]

4.3.2 CompactDAQ

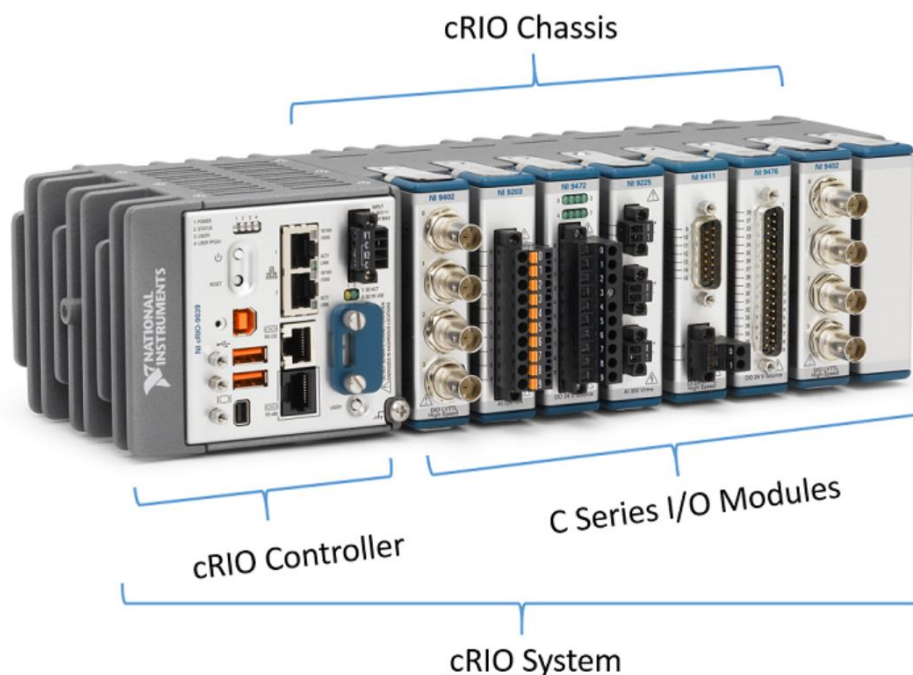
CompactDAQ se skládají ze šasi, která je připojena přímo do PC přes USB nebo Ethernet a CompactDAQ kontrolérů řídících průběh zpracovávání naměřených dat z I/O modulů. V PC jsou data vizualizována a zpracovávána ve vhodně zvoleném softwaru. Šasi poskytuje systému napájení, chlazení a ochranu před rušivými vlivy. CompactDAQ systém je z výše uvedených platform nejlevnější. Využití nachází hlavně v časově nenáročných aplikacích. Hlavní část přístroje je znázorněna na Obr. 32). Měření, které bude provedeno a popsáno v dalších kapitolách bude částečně uskutečněné právě za pomoci této platformy, jako komponentu přenášející signál z měřicí karty do počítače.



Obr. 32) CompactDAQ šasi [14]

4.3.3 CompactRIO

Systémy RIO jsou navrženy pro měření, monitoring a ovládání aplikací v reálném čase s operačním systémem Linux a uživatelsky přístupným programovatelným hradlovým polem FPGA (Field Programmable Gate Array). Jsou ideální pro případy dlouhodobého měření například ve výrobních halách. Do systému mohou být včleněny I/O moduly i přes Ethernet. CompactRIO nabízí také více komunikačních rozhraní, než tomu bylo u předešlých produktů. CompactRIO je optimalizovaný pro programování v LabVIEW a kód vytvořený v LabVIEW může být nasazen jak do operačního systému, tak i do FPGA. CompactRIO se z pohledu nákladů na pořízení řadí k dražším systémům, které však dokáží být velice univerzální. Jeden z možných druhů přístroje je vyobrazen na Obr. 33). [14]



Obr. 33) CompactRIO [14]

4.4 LEM

LEM je firma založená ve Švýcarsku v roce 1972 a rozrostla se do velké mezinárodní firmy s výrobními závody v Číně, Bulharsku a Japonsku. Specializuje se především na výrobu a inovace v oblasti snímačů proudů a napětí. Z tohoto základu poté firma přechází i na výrobky pro zabezpečování bezproblémového fungování elektrických obvodů jako jsou senzory, elektroměry a baterie pro obnovitelné zdroje energie. [17]

4.5 Socomec

Firma Socomec byla založena v roce 1922 ve francouzském městě Benfeld a nyní zaměstnává okolo 3 100 lidí. Zaměřuje se na inovace, ovládání a bezpečnost nízkonapěťových sítí se zvýšeným zaměřením na výkon. Samozřejmostí je specializace v oblasti měření elektrického proudu v reálném čase, záložních zdrojů elektrické energie pro servery a další zařízení (tzv. UPS – Uninterruptible Power Supply). [18]

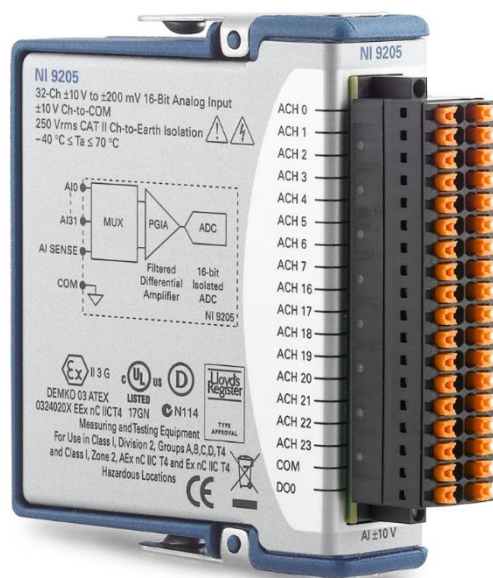
5 POUŽITÉ MĚŘICÍ VYBAVENÍ

Vybavení použité k měření elektrických hodnot je od výše zmíněných firem. Celkem byly použity 3 hlavní měřicí soustavy. První dvě jsou složeny ze senzorů elektrického napětí a proudů od firmy LEM a DAQ platformy od firmy National Instruments. Soustavy se liší pouze proudovými senzory, první obsahuje proudové senzory typu 205-S/SP3, druhá typ LAH 50-P. Třetí soustava je složena z kompaktního měřicího přístroje Diris A10 od firmy Socomec.

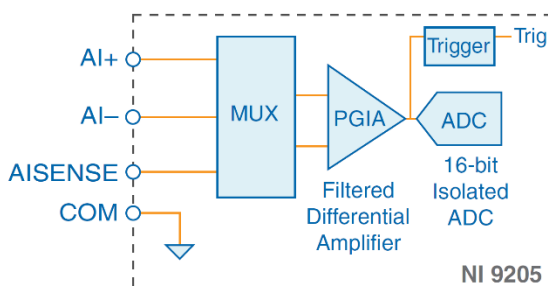
5.1 Měřicí karta NI-9205

NI-9205 ze série C je plně kompatibilní model s jakýmkoliv systémem CompactDAQ nebo CompactRIO. Zařízení je znázorněno na Obr. 34). Měřicí karta má napěťové vstupy, hodnoty napětí musí být upraveny na hodnoty ± 10 V, ± 5 V, ± 1 V, nebo $\pm 0,2$ V. Karta disponuje 16 diferenciálními vstupy/ 32 jednotlivými analogovými vstupy. Počet vzorků, které je karta schopna nasnímat, se udává v jednotkách S/s nebo kS/s. Jedná se o počet vzorků (angl. samples) za jednu sekundu. Karta NI-9205 je schopna vyprodukovat 250 000 vzorků za sekundu. [27]

Blokové schéma analogového vstupu kanálu AI je znázorněno na Obr. 34). Multiplexor MUX je elektronický člen fungující na principu přepínače, který připojuje jednotlivé analogové vstupy na programovatelný zesilovač PGIA (Programmable Gain Instrumentation Amplifier). Zesílení se nastavuje podle vstupního rozsahu. Funkce triggeru je aktivovat čtení na analogovém vstupu. AD převodník poté převádí napětí na číselnou informaci ve formátu dat. Při 16bit AD převodníku se kvantizační krok vypočítá pomocí vstupního rozsahu. Kvantizační krok je velmi důležitý pro zjištění odchylky vzniklou při kvantování. Kvantizační chyba může dosahovat polovinu kvantizačního kroku. Při měření s menšími vstupními rozsahy se kvantizační chyba zmenšuje. [26]



(a) Platforma



(b) Vstupní obvod pro jeden analogový kanál

Obr. 34) Platforma NI-9205 C [27]

Hodnoty zpracované měřicí kartou budou dále přeneseny přes komunikační sběrnici do PC a budou zpracovány v programu LabVIEW a uloženy do souboru pro další možné vyhodnocování.

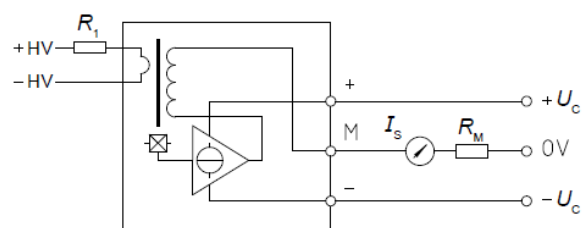
5.2 LV25-P

Senzor elektrického napětí a proudu LV25-P od firmy LEM je vhodný ke snímání stejnosměrných, střídavých i pulzních průběhů. Snímač pracuje na principu Hallova jevu a jeho primární a sekundární obvod je galvanicky oddělený. Schéma snímače je znázorněno na Obr. 35). Vstupy měřeného obvodu jsou označeny jako $-HV$ a $+HV$. V naší měřicí soustavě budeme s tímto senzorem měřit napětí, proto zapojujeme senzor paralelně se spotřebičem. Při měření napětí musí být před senzor sériově předřazen externí rezistor R_1 . Tento odpor se vybírá v závislosti na vlastnosti měřeného obvodu a omezuje svým působením proudy procházející obvodem, aby nepoškodily senzor. Jelikož maximální dlouhodobé zatížení vstupními proudy je dáno konstrukcí přístroje na 0 až 14 mA, jmenovitá hodnota, na kterou je zařízení dimenzováno je poté 10 mA. [17]

Samotný senzor je dimenzován na snímání napětí o hodnotách 10 – 500 V nejvíce však 600 V. Napájecí napětí senzoru U_c je stejnosměrné o hodnotách 12 až 15 V. Výstupní signál ze senzoru LV25-P je proudový o jmenovité hodnotě 25 mA. Kvůli rušícím okolním vlivům je výhodné přeměnit proudový signál na napětěový co nejbližše měřicí kartě NI-9205, jelikož daná karta má vstupy pouze napětěové. Přeměna proudového signálu na napětěový signál se provede předřazením vhodně zvoleného odporu před vstupem do měřicí karty. Velikost chyby senzorů je maximálně 0,9 % naměřené hodnoty, za předpokladu dodržení předepsaných doporučených funkčních parametrů. [17]



(a) Senzor

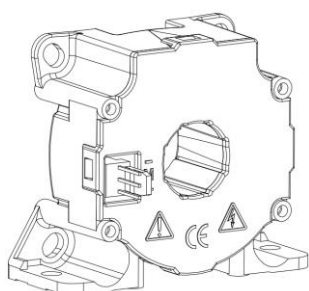


(b) Schéma obvodu

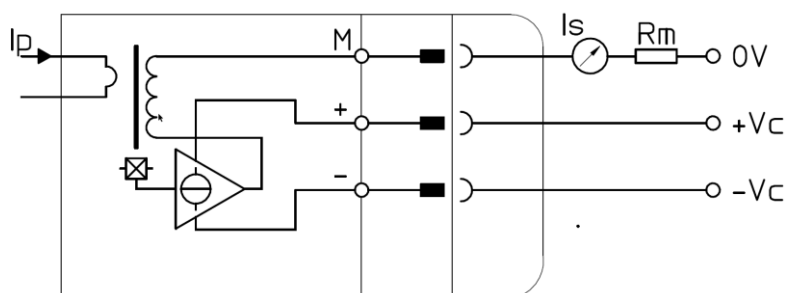
Obr. 35) Senzor napětí LV25-P [17]

5.3 205-S/SP3

Senzory elektrického proudu 205-S/SP3 od firmy LEM jsou vhodné ke snímání stejnosměrných, střídavých i pulzních průběhů. Snímač pracuje na principu převodníku proudu s uzavřenou smyčkou za pomoci Hallova jevu. Jeho primární a sekundární obvod je galvanicky oddělený. Schéma snímače je znázorněno na Obr. 36). Primární obvod je znázorněn na levé části a přivedený proud je označen jako I_p . Přístroj je konstruován na měření proudu o maximálních hodnotách ± 200 A. Jmenovitá hodnota při měření střídavého proudu je doporučená pro 100 A. Převodní poměr transformátoru k je roven 1:1000. Jmenovitý výstupní proud I_s je roven hodnotě 100 mA. Napájecí stejnosměrné napětí je stanoveno v rozmezí 12 až 15 V. Velikost chyby měření podle výrobce nepřesáhne 0,5 % naměřené hodnoty za předpokladu dodržení všech doporučených hodnot a postupů. Podobně jako v předchozím případě se proudový signál na výstupu převádí na napětěový co nejbližše měřicí kartě předřazením vhodně zvoleného odporu [28].



(a) Senzor

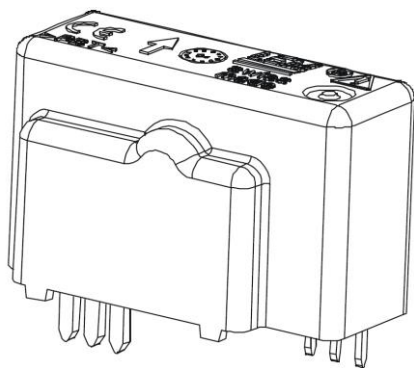


(b) Schéma obvodu

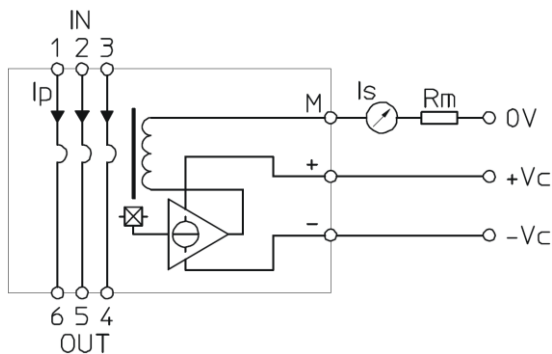
Obr. 36) Proudový senzor LF 205-S/SP3 [28]

5.4 LAH 50-P

Senzor elektrického proudu LAH 50-P od firmy LEM je vhodný ke snímání stejnosměrných, střídavých i pulzních průběhů. Snímač pracuje na principu Hallova jevu a jeho primární a sekundární obvod je galvanicky oddělený. Snímač je znázorněn na Obr. 37). Měřicí rozsah senzoru je ± 100 A. Doporučená hodnota jmenovitého proudu je 50 A. Na výstupu ze snímače se indukuje proud o jmenovité hodnotě 25 mA. Podobně jako v předchozích případech se proudový signál na výstupu převádí na napěťový co nejbližze měřicí kartě předřazením vhodně zvoleného odporu. Napájecí stejnosměrné napětí V_c by mělo být v rozsahu 12 až 15 V. Přesnost senzoru je uvedena jako maximální možná velikost procentuální nepřesnosti z naměřeného výsledku a je rovna 0,25 %. [29]



(a) Senzor



(b) Schéma obvodu

Obr. 37) proudový senzor LAH 50-P [29]

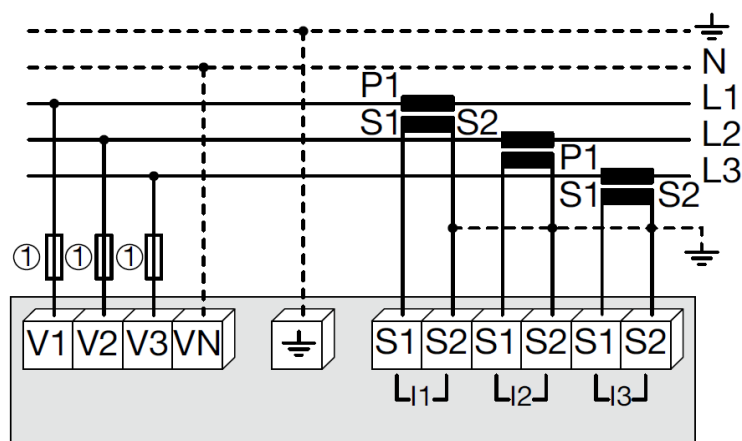
5.5 Diris A10

Diris A10 od firmy Socomec je multifunkční zařízení pro měření elektrických hodnot při nízkém napětí. Přístroj je určen k měření střídavých napětí a proudů v trojfázové soustavě. Naměřené hodnoty lze zobrazit na displeji nebo přenášet do počítače a analyzovat. Zařízení má v sobě zabudovanou funkci kontroly správného zapojení proudových transformátorů a funkci snímání teploty. Displej zařízení je pro představu znázorněn na Obr. 38). [25]

Snímání proudu je zde zajištěno proudovými transformátory. Dle výrobce lze do primárního obvodu transformátoru přivést proud o hodnotách přibližně od 0 A až 10 kA. Rozsah lze snížit znásobením proudu protékajícího transformátorem, tedy natočením kabelu do více smyček vedoucí skrze transformátor. Maximální proud indukovaný v sekundárním obvodu je roven 5 A, limit zvládnutelného přetížení je 6 A. Vnitřní odběr transformátorů je 0,6 VA s přesností do 0,2% měřené hodnoty. Schopnost snímání hodnot střídavého napětí je uvedena v intervalu od 50 – 520 V při měření napětí mezi jednotlivými fázemi (sdružené napětí). Při měření mezi fázovým vodičem a nulovým vodičem (fázové napětí) je to 28 – 300 V. Přesnost při měření napětí je rovněž 0,2 % a vnitřní spotřeba je menší nebo rovna 0,1 VA. Limit pro přetížení je do 800 V střídavého napětí. Přístroj je konstruován pro měření v rozsahu síťových frekvencí od 45 až 65 Hz. [25]



(a) Display



(b) Schéma zapojení

Obr. 38) Zařízení Diris A10 [25]

Naměřené hodnoty přístrojem Diris A10 budou dále přeneseny do PC přes sběrnici RS485 a USB. Vizualizace proběhne v programu LabVIEW. Protokol pro vzájemnou komunikaci počítače s elektroměrem bude modbus. Pomocí LabVIEW budou hodnoty dále uloženy do souboru pro případnou další analýzu. Měřicí přístroj odpovídá normám:

- **IEC 62053-22 class 0.5 S** – vybavení pro měření elektrické energie (AC) - Zvláštní požadavky Část 22: Střídavé statické činné elektroměry (třídy 0,2 S a 0,5 S),
- **IEC 62053-23 class 2** – vybavení pro měření elektrické energie (AC) - Zvláštní požadavky – Část 23: Statické elektroměry pro jalovou energii (třídy 2 a 3),
- **IEC 61557-12** – elektrická bezpečnost v nízkonapěťových rozvodech do 1 000 V AC a 1 500 V DC – Zařízení pro zkoušení, měření nebo monitorování ochranných opatření – Část 12: Měřicí a monitorovací zařízení výkonu (PMD),
- **UL 61010-1** – bezpečnostní požadavky pro elektrické, kontrolní a laboratorní měřicí přístroje.

6 REALIZACE V LABVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) je grafické programovací prostředí a jako program je považován za virtuální instrument (VI). Využívá místo klasických textových řetězců bloky funkcí propojených datovým tokem. Bloky mohou zastávat jednoduché matematické či logické funkce, nebo fungovat jako komplexní programy na analýzu naměřených dat a zapisování hodnot do souboru. Virtuální instrumentace za použití programu LabVIEW si klade za svůj cíl nahradit hardwarové komponenty, které mohou být v některých situacích příliš drahé a jednostranně zaměřené. [15]

6.1 Práce s programem

Proces začíná spuštěním programovacího prostředí v počítači. Po vytvoření nového projektu a otevření programu zjistíme, že se LabVIEW skládá ze dvou asociovaných oken – Předního panelu (angl. Front Panel) a Blokového diagramu. Přední panel slouží jako uživatelské grafické rozhraní vytvořeného programu. Přes toto rozhraní lze zadávat parametry, řídit běh aplikace a získávat informace o naměřených výsledcích. Vytvořené objekty v tomto okně lze libovolně měnit, přemísťovat a upravovat tak, aby co nejvíce odpovídaly požadavkům. Nejdůležitější dělení prvků (bloků) v tomto okně je na vstupní a výstupní. Vstupní mohou být všechny různé ovladače jako tlačítka, otočné knoflíky či posuvné ovladače. Na druhou stranu výstupní prvky jsou většinou indikátory, grafy, textové či číselníkové ukazovače nebo ručičková ukazovátka a další. Jedná se v zásadě o obrazovku virtuálního měřicího přístroje.

Druhým sdruženým oknem každé aplikace v LabVIEW je Blokový diagram. Zde uživatel definuje algoritmus programu. Propojením blokových schémat z Předního panelu, spojením vstupů a výstupů přes dané bloky funkcí dostáváme požadovaný program. Mezi Předním panelem a Blokovým diagramem lze jednoduše přepínat použitím tlačítka <Ctrl+E>. [15] Každý panel má své bloky funkcí, které jsou předdefinované společností National Instruments.

6.2 Tvorba aplikací

Celkem byly vytvořeny dvě samostatné aplikace. Důvodem je velká odlišnost základních principů komunikace s měřicí kartou od společnosti National Instruments a komunikací s elektroměrem od společnosti Socomec. Obě vytvořené aplikace využívají primárně architektury QSM – PC, tedy stavového automatu ve struktuře smyček Producent/Konzument. Samotná Producent/Konzument struktura vychází z principů struktury Master/Slave. Důvodem, proč byla zvolena právě struktura Producent/Konzument je vylepšené sdílení dat mezi více smyčkami běžícími různými rychlostmi. Paralelní smyčky jsou rozděleny do dvou kategorií. Producenti produkují data a konzumenti data zpracovávají a analyzují. Pro přenášení dat mezi jednotlivými smyčkami se používají datové fronty. Tyto fronty nabízejí ukládání dat do vyrovnávací paměti mezi produkční a konzumní smyčkou.

Producent/Konzument struktura se standardně používá při získávání většího množství dat, které má být zpracováváno v jisté sekvenci. Struktura zajišťuje, aby data byla analyzována ve stejné sekvenci, i když je snímání dat mnohem rychlejší než jejich analýza. Návrhový vzor Producent/Konzument se dá velice efektivně použít i při analýze síťové komunikace. První smyčka bude dotazovat síť a načítat pakety a druhá smyčka bude pakety analyzovat. Princip datových front je založen na FIFO (first-in/first-out) přístupu. To znamená, že data ve frontě

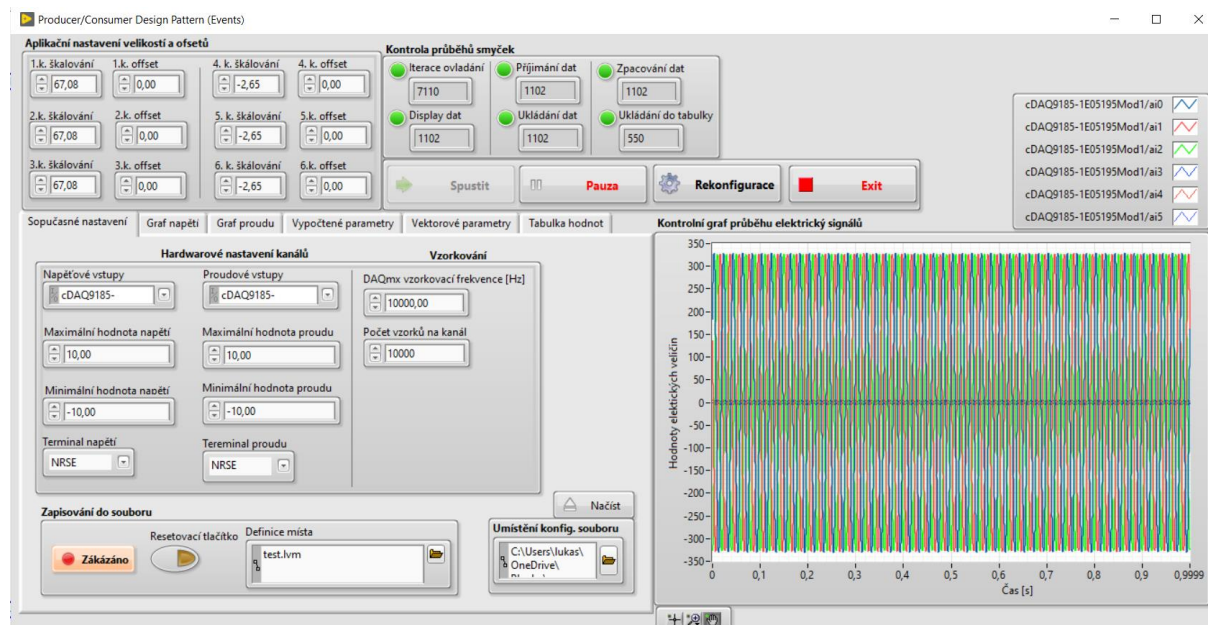
budou zpracována konzumní smyčkou ve stejném pořadí, jak byla do fronty vloženy smyčkou produkční. [36]

Stavové automaty umístěné ve smyčkách umožňují uživateli ovládat chování aplikace. Principiálně existuje jedna event struktura, která čeká na definovaný pokyn od uživatele. Jestliže tento pokyn dostane, zařadí ho do datové fronty. Pomocí datové fronty se tento pokyn rozšíří i do ostatních smyček, které na jeho základě provedou daný úkon. Základem stavového automatu jsou stavy: *idle*, *init*, *run*, *exit*, avšak uživatel může přidávat další stavy dle vhodnosti či potřeby. Ve stavu *idle* aplikace vyčkává na pokyny od uživatele. Aplikace je spuštěná, ale neprovádí žádnou funkci. Stav *init* vychází z anglického slova initialization. Tento stav je používán pro přechod mezi stavem *idle* a *run*. Do aplikace se propíše základní uživatelské nastavení jako například označení kanálu pro příjem informací. Ve funkčním stavu *run* aplikace zpracovává informace a provádí většinu svých funkcí, ke kterým byla vytvořena. Stav *exit* poté slouží k ukončení aplikace.

6.2.1 Aplikace pro zpracovávání a analýzu dat z DAQ měřicí karty

Náhled grafického uživatelského prostředí, tedy Přední panel, vytvořeného programu se nalézá na Obr. 39). Detailní vyobrazení předního panelu je umístěno v přílohách. Velikost celého předního panelu je situována pro laptop s uhlopříčkou alespoň 10 palců, jelikož se předpokládá, že se aplikace bude využívat hlavně na přenosných zařízeních. Grafický vzhled indikátorů, tlačítek a grafů je převzatý z knihovny „Silver“, která je vzhledově více přehledná než základní grafický model.

Při spuštění aplikace je nutné nejdříve ověřit nastavení: „Hardwarové nastavení kanálů“ a „Vzorkování“. Tedy parametry, s jakými budou data přenášena z hardwaru do aplikace. Tyto aplikační vstupy je potřeba nakonfigurovat mezi prvními nebo načíst poslední zadané hodnoty z iniciačního souboru.



Obr. 39) Schéma – Přední panel aplikace

Aplikace disponuje funkcí načítání výchozích dat z iniciačního souboru. Data, která jsou načtena do sekce „Hardwarové nastavení kanálů“, „Vzorkování“ a „Aplikační nastavení velikostí a offsetů“ jsou obsažena v souboru *INIT_FILE.txt*, přiloženému k aplikaci. Uživatel

musí zadat přesnou adresu tohoto souboru, podle toho, kde je iniciační soubor uložen v jeho počítači a poté funkcí tlačítka „Načíst“ se zmíněné konfigurační pole přepíší podle údajů obsažených v souboru.

Funkce taktéž průběžně ukládá do souboru změny. Jestliže uživatel nastavení v průběhu aplikace mění, tyto změny jsou zaznamenávány do příslušného textového souboru. Jestliže uživatel aplikaci vypne, nebo nastane-li nějaká nepředvídatelná událost vedoucí k vypnutí aplikace, nastavená data se zachovají v iniciačním souboru. Tyto údaje se následně na pokyn uživatele načtou při spuštění aplikace. Tímto se ušetří velké množství času, jež by případně zabralo znovu nastavování parametrů.

Základní stavy aplikace jsou řízeny v ovládacím menu umístěném uprostřed horní části obrazovky. Jednotlivá tlačítka ovládání zsednou, jestliže jsou zakázána v daném stavu aplikace. Tlačítka mají následující funkcionalitu:

- Spustit – propíše zadané parametry do aplikace, spustí měření a podružné funkce,
- Pauza – přepne do stavu *idle*, kde aplikace nevyčítá a čeká na další pokyn od uživatele,
- Rekonfigurace – propíše nově zadané hw parametry do aplikace a znovu spustí funkce,
- Exit – ukončí veškeré funkce a vypne celou aplikaci.

Jestliže chceme změnit hardwarové nastavení kanálů a vzorkování, musíme aplikaci rekonfigurovat nebo rekonfiguraci provést před spuštěním měření a vyhodnocování. To ovšem neplatí pro dále popsané konfigurační a uživatelsky volitelné prvky. U nich se propsání do aplikace bez rekonfigurace naopak vyžaduje, aby nebylo narušeno kontinuální měření. Velmi významným prvkem na Předním panelu je panel: „Aplikační nastavení velikostí a offsetů“. Je to způsob jak signály, které byly upraveny pro měřicí hardware, znovu nastavit na skutečné hodnoty proudů a napětí protékající obvodem. Bez této funkce bychom zpracovávali pouze hardwarem upravený signál a nemohli bychom vypočítávat další parametry.

Kontrolní prvek aplikace je umístěn nad základním menu a umožňuje uživateli v reálném čase kontrolovat průběh aplikace. Jestliže by došlo k jakékoli interní chybě po spuštění měřicí funkce aplikace, třebaže jen v jedné ze smyček, kontrolní panel je schopen tuto chybu indikovat. Uživatel je upozorněn rozsvícením červené kontrolky a zastavením indikátoru iterací.

Do aplikace byly doimplementovány funkce, které umožňují nasnímané a vypočtené hodnoty uložit do souboru vhodnou interakcí s grafickým rozhraním. Funkce jsou v aplikaci zastoupeny na dvou místech. Funkce ukládání aktuálního průběhu měřených proudů a napětí je umístěna na první záložce pod nastavením hardwaru a vzorkování. Ukládá získaná data do souboru TDMS. Tím pádem je možné naměřená data dále vyhodnocovat či analyzovat i mimo jiné programové prostředí, než je LabVIEW. Pro povolení ukládací funkce je potřebné v uživatelském prostředí aktivovat panel a definovat místo, kam se mají data uložit. Aplikace poté kontinuálně ukládá naměřená data do souboru. Již naměřená data v souboru lze vymazat resetovacím tlačítkem.

Další funkce, jak exportovat data do souboru se naskýtá v záložce „Tabulka hodnot“. Záložka je zobrazena na Obr. 40). Umožňuje uživateli zaznamenávat či mazat vypočtené hodnoty. Hodnoty lze ukládat přes rozhraní tlačítka „Uložit“ a definováním umístění souboru.

Sopučasné nastavení Graf napětí Graf proudu Vypočtené parametry Vektorové parametry Tabulka hodnot

	Datum	Čas	F [Hz]	RMS U1	RMS U2	RMS U3	RMS I1	RMS I2	RMS I3	P [W]
0.	18.06.2020	13:25:58	1,549796	327,8573	307,1978	289,3855	91,71373	88,53743	87,13643	27623,98
1.	18.06.2020	13:26:00	1,562426	287,4144	273,2182	264,3819	87,03032	87,98205	90,55629	22077,45
2.	18.06.2020	13:26:02	1,552704	263,5874	260,9915	264,7221	91,40783	95,89118	101,7508	20982,87
3.	18.06.2020	13:26:04	1,515474	265,7576	275,6994	290,1425	102,6512	109,5085	116,7476	24580,34
4.	18.06.2020	13:26:06	1,538717	292,7048	311,3225	332,0344	118,0002	125,4293	132,8912	32455,59
5.	18.06.2020	13:26:08	1,548769	335,3554	357,5246	380,0503	134,1778	141,2503	147,9183	43419,83
6.	18.06.2020	13:26:10	1,541597	384,0021	406,2460	427,0091	148,8603	155,0676	160,2214	55913,60
7.	18.06.2020	13:26:12	1,519970	430,3648	449,7509	467,5079	160,9245	165,2174	168,7584	68219,77
8.										
9.										
10.										
11.										
12.										

Vyber řádek 5

Zaznamenanat Smazat Uložit

Definice souboru

Obr. 40) Tabulka hodnot

Vypočtené parametry lze sledovat v reálném čase na záložce „Vypočtené parametry“ (zobrazeném na Obr. 41). Indikátory zde zobrazují aktuální hodnoty vypočtených parametrů jako je frekvence, efektivní hodnoty proudu a napětí, výkon a energie.

Pro úplnost je třeba popsat záložky „Graf napětí“, „Graf proudu“ a „Vektorové parametry“. Na prvních dvou nalezneme grafy zmíněných veličin s ukazateli aktuálních hodnot. V záložce „Vektorové parametry“ nalezneme Napěťové vektorové schéma, které graficky znázorňuje procházející proudy a napětí v Gaussově rovině s komplexními čísly. Dále jsou tu i indikátory fundamentálních vektorů a sekvencí.

Sopučasné nastavení Graf napětí Graf proudu Vypočtené parametry Vektorové parametry Tabulka hodnot

Frekvence [Hz]

1,4936

Výkon

Činný výkon [W]

63635,1

Zdánlivý výkon [VA]

64739

Jalový výkon [VAR]

11904,7

Účinnost [-]

0,982947

Hodnoty energie (spotřeby)

Činná energie [Wh]

1228,91

Zdánlivá energie [VAh]

1264,71

Jalová energie [VARh]

267,276

Efektivní hodnoty proudu [A]

137,689

130,335

122,91

Efektivní hodnoty napětí [V]

470,182

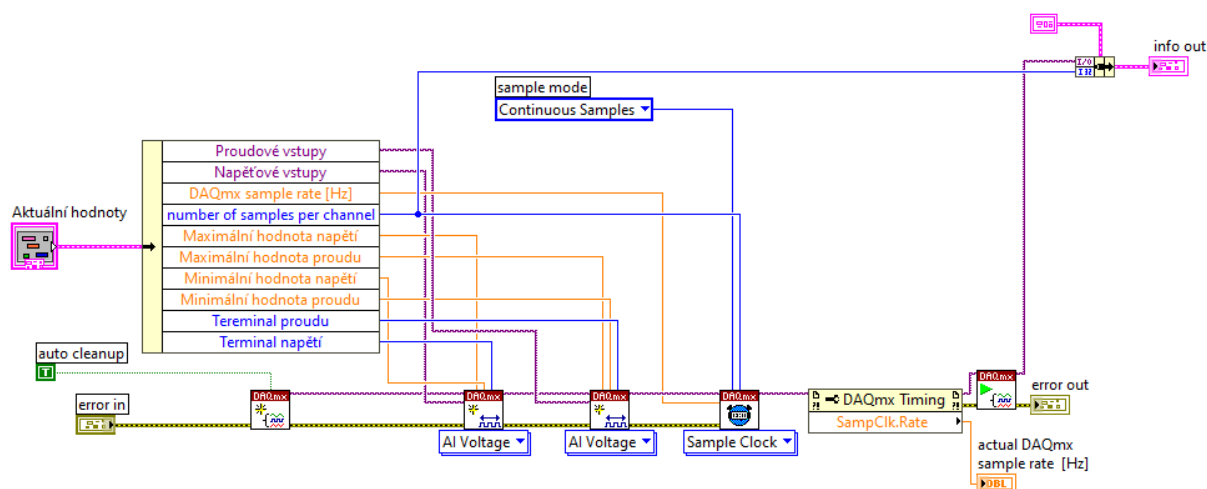
452,844

434,06

Obr. 41) Vypočtené parametry

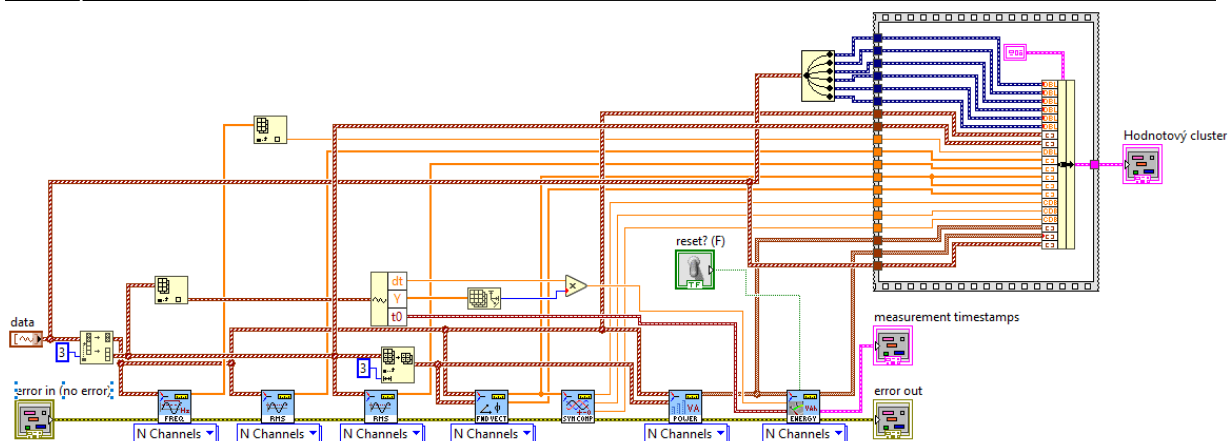
Při vytváření aplikace byla data simulována pomocí programu NI MAX (Measurement & Automation Explorer), aby se zaručila co nejmenší chybovost při ověřování a implementaci. NI MAX poskytuje přístup k DAQ reálným i virtuálním zařízením. Dovoluje konfiguraci hardwaru i softwaru. Vytváří a upravuje virtuální nástroje, kanály a rozhraní. Provádí diagnostiku systému a zobrazuje zařízení a nástroje připojené do systému. Využita byla hlavně funkce simulace virtuálního měřicího zařízení a virtuálních kanálů, které jsou následně aplikací zpracovávány a analyzovány.

Jak už bylo zmíněno, základní struktura aplikace vychází z architektury QSM – PC (Queued State Machine – Producer Consumer). Aplikace je složena ze sedmi základních smyček, v nichž se nachází stavový automat. První smyčka obsluhuje základní menu v grafickém uživatelském prostředí a komanduje ostatní smyčky. Ty jednájí na základě uživatelských příkazů. Pro lepší orientaci v kódu byly použity SubVIs, tedy bloky funkcí, které se v hlavním blokovém diagramu zobrazují jen jako jeden blok a skrývají další kód. Data jsou získávána za pomoci standartních bloků funkcí DAQmx umístěných do jednoho ze SubVI znázorněné na Obr. 42). V předcházejícím kroku bylo uloženo základní nastavení kanálů a nyní na základě těchto konfiguračních hodnot pod názvem „Aktuální hodnoty“ jsou vyčítány hodnoty elektrického proudu a napětí. Právě kvůli optimalizaci chodu programu se musí hardwarové nastavení kanálů a vzorkování nejdříve propsat do funkce vhodnou interakcí s Předním panelem, jelikož neustálá konfigurace kanálů při každém cyklu programu by mohla získávání dat nezanedbatelně zpomalovat, a tím ovlivňovat běh celé aplikace.



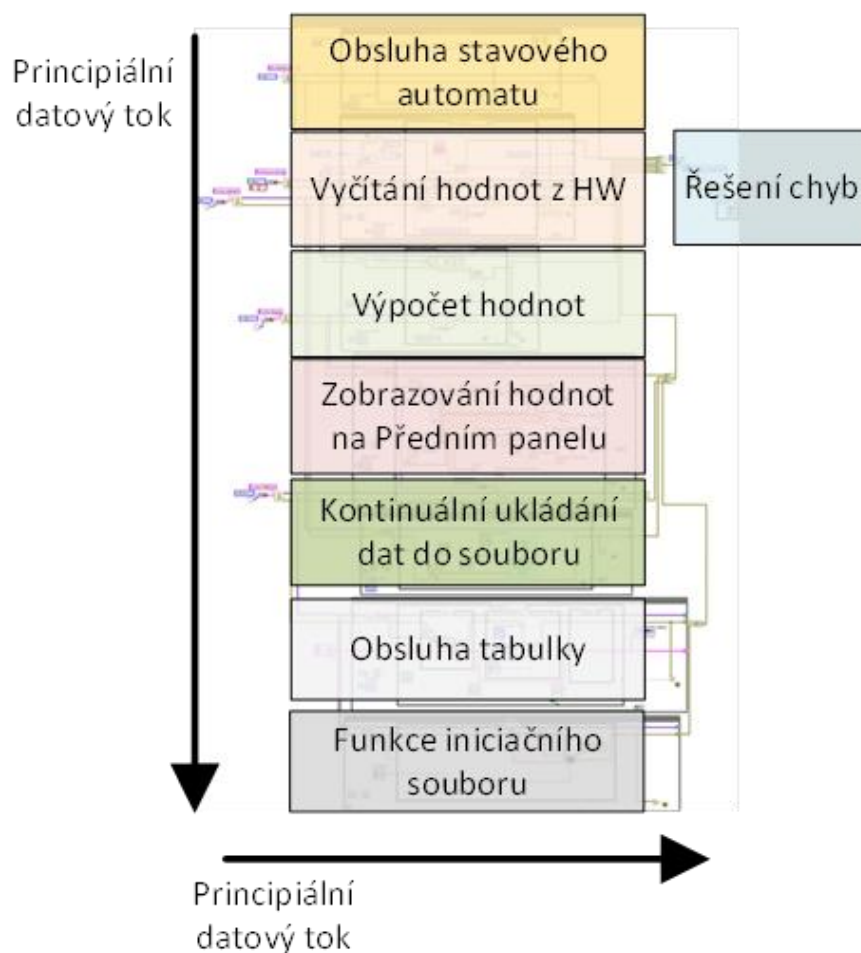
Obr. 42) SubVI – vyčítání dat z hardwaru

Výpočetní SubVI elektrických parametrů ze získaných elektrických signálů na Obr. 43) vychází ze základní struktury pro elektrická měření a analýzu doporučeného společností National Instruments. Data získaná v předchozích krocích vstupují do této SubVI. Zde se nejprve vypočítá frekvence a efektivní hodnoty. Poté se spočtou hodnoty pro určení vektorových parametrů a sekvencí. Jako poslední se vypočítají hodnoty výkonů a energií. Po provedení výpočtů jsou data umístěna do clusteru a vyvedena do smyčky pro zobrazování dat na Předním panelu.



Obr. 43) SubVI – výpočet elektrických parametrů

Detailně vyobrazená základní struktura aplikace se nalézá v příloze této diplomové práce. Základní přehled lze získat na Obr. 44), jedná se o blokové schéma aplikace s vysvětlením funkce jednotlivých částí.

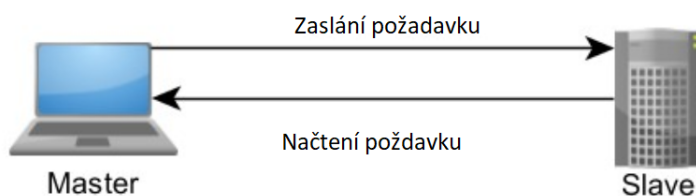


Obr. 44) Schéma Blokového diagramu aplikace pro DAQ systém

6.2.2 Aplikace pro vyčítání dat z elektroměru Diris A10

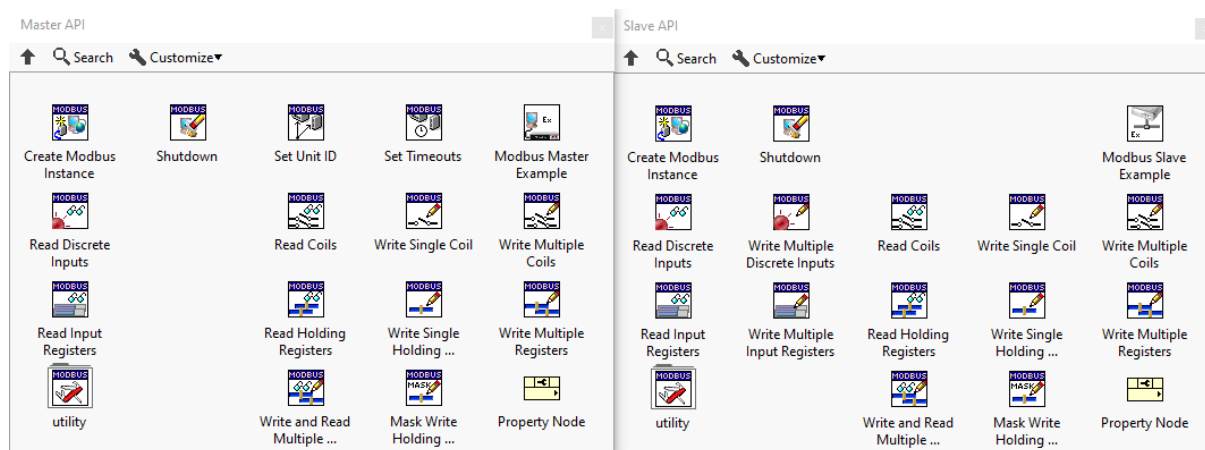
Druhý program je vytvořen se zaměřením pro komunikaci s protokolem Modbus. Modbus je komunikační protokol, který byl vytvořen společností Modicon (nyní spadající do koncernu Schneider Electric company). Řadí se mezi otevřené komunikační protokoly, které byly vyvinuty pro komunikaci s PLC a jim podobnými systémy. V dnešní době je Modbus běžným protokolem používaným pro bezpočet zařízení díky jeho jednoduchosti, spolehlivosti a do jisté míry i efektivnosti komunikace napříč řadou moderních sítí. [40]

Protokol Modbus je specificky používán pro systémy SCADA, které pořizují a vizualizují data z procesů probíhajících v tovární hale. Komunikace mezi jednotlivými zařízeními nese prvky Master/Slave, jak je znázorněno na Obr. 45). Typicky existuje jedno zařízení master (například výkonný server), který požaduje informace od mnoha zařízení Slave (například PLC nebo PAC). Master zasílá požadavky o informace, Slave zařízení náležitě odpoví a data jsou následně zpracována programem a přečtena zařízením Master. Architektura dává zařízením Master plnou kontrolu nad přenosem informací a vysoký stupeň kontroly nad zařízeními Slave. Přenos informací počítá se sériovou komunikační sběrnici RS485 s převodníkem na USB, v našem případě budou přenášena mezi Slave zařízením elektroměrem Diris A10 a zařízením Master laptopem typu G3 od firmy DELL. [40]



Obr. 45) Spolupráce zařízení Master/Slave [40]

National Instruments poskytuje v LabVIEW tři hlavní mechanismy pro komunikaci s využitím Modbus protokolu: OPC server, Modbus I/O server a rozhraní pro programování aplikací API. Pro naši aplikaci byl použit třetí přístup, a tedy využití předpřipravených bloků funkcí nacházejících se již v LabVIEW, které jsou znázorněny na Obr. 46).



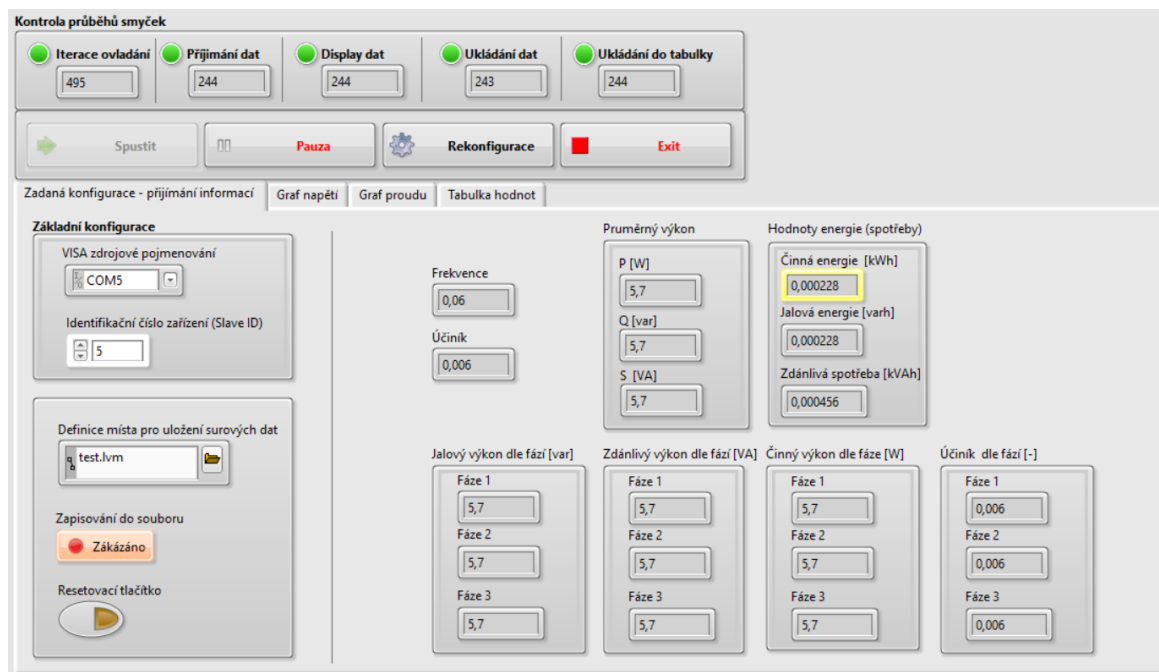
Obr. 46) Bloky funkcí pro Modbus komunikaci v LabVIEW

Je velice důležité zmínit, že vyčítání uložených informací z jednotlivých registrů probíhá specifikací prvního registru, který chceme přečíst a následně specifikací počtu registrů.

Nelze jednotlivé registry přeskakovat nebo snad vyčítat informace z jednotlivých registrů náhodně. Příjem informací z Diris A10 se provádí systémem požadavků o data, jež jsou uložena v registrech jednotlivých přístrojů. Registry se načítají tím způsobem, že určíme počáteční registr a počet registrů, které chceme přečíst.

Schéma grafického rozhraní vytvořeného programu se nalézá na Obr. 47). Ucelené zobrazení celého grafického rozhraní programu je vyobrazeno v přílohách této diplomové práce. Základní menu ovládání je provedeno ve stejné podobě jako tomu bylo u aplikace pro měření a analýzu dat z měřicí karty. Popis a funkcionalita tlačítek „Spustit“, „Pauza“, „Rekonfigurace“ a „Exit“ jsou z pohledu uživatele totožné. V základním náhledu Předního panelu nalezneme kontrolní panel, který umožňuje kontrolovat bezchybný průběh spuštění aplikace. Základní konfigurace se u aplikace pro Diris A10 ztenčila pouze na definování zdroje a identifikačního čísla Slave zařízení. Je to dáno tím, že aplikace není natolik multifunkční jako tomu je u aplikace předchozí. Je vytvořena výhradně pro jedno zařízení, a proto není potřeba nastavovat detaily jako čtené registry, rychlost přenosu a další, jež se pochopitelně nemění. Na výchozí záložce „Zadaná konfigurace – přijímání informací“ nalezneme i vyčtené a upravené údaje. Aplikace tyto údaje vyčte z elektroměru a upraví formát, aby byla data pro uživatele jednoduše čitelná.

Ukládání dat lze provádět přes rozhraní umístěném v levém dolním rohu. Stejnými interakcemi jako v případě předchozí aplikace lze data ukládat do souboru. Další možností je poté ukládání hodnot do tabulky v záložce „Tabulka hodnot“. Záložka je obdobou tabulky na Obr. 40). Tabulka nám umožňuje přehledně ukládat a zobrazovat měřená data. Záložky „Graf napětí“ a „Graf proudů“ nám umožňují sledovat efektivní hodnoty elektrických signálů naměřených elektroměrem Diris A10 v téměř reálném čase.

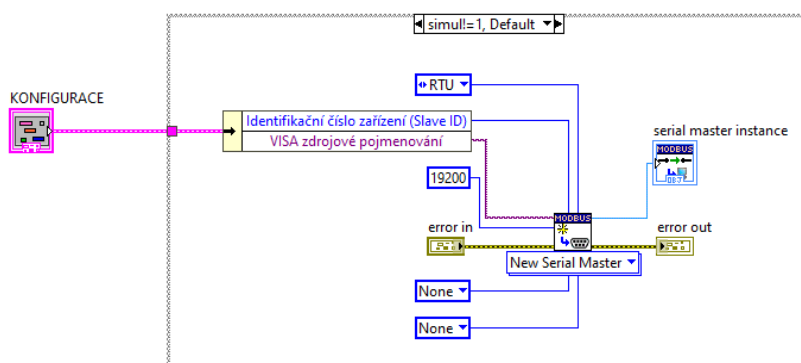


Obr. 47) Schéma – Přední panel aplikace pro Diris A10

Dříve už bylo popsáno, že, struktura aplikace vychází z architektury QSM – PC (Queued State Machine – Producer Consumer). V aplikaci pro Diris A10 se nachází pouze pět smyček, jelikož není nutné data složitě upravovat, jak tomu bylo v předchozím

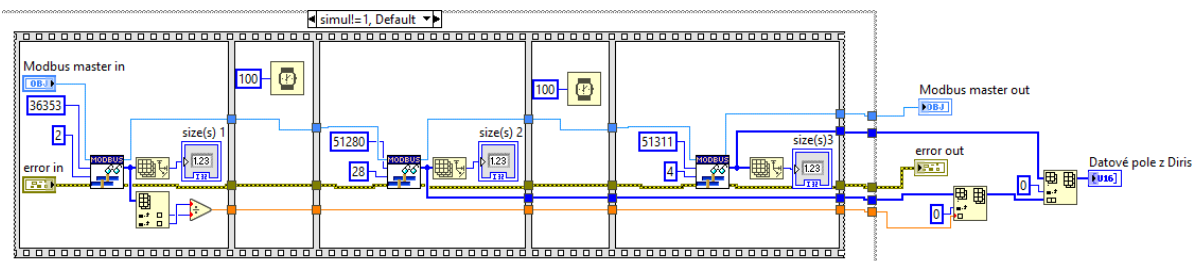
případě. Funkce načítání hodnot z INI souboru taktěž pozbývá smysl, jelikož zde nemáme velké množství prvků jako v případě Aplikace pro měřicí kartu a čas ušetřený automatickým nastavováním dvou parametrů by byl naprosto minimální.

Na Obr. 48) je znázorněno, jak probíhá vytvoření serial master instance. Po zadání uživatelských parametrů se při přechodu ze stavu init a run spustí i tato SubVI. Kromě uživatelských parametrů jsou zde i defaultní parametry, které musí být stejné jak v této části programu, tak v zařízení Diris A10 pro bezchybnou komunikaci. Výstupem ze SubVI je serial master instance, která je potřebná k vyčítání daných registrů ze zařízení.



Obr. 48) SubVI – vytvoření Serial master instance

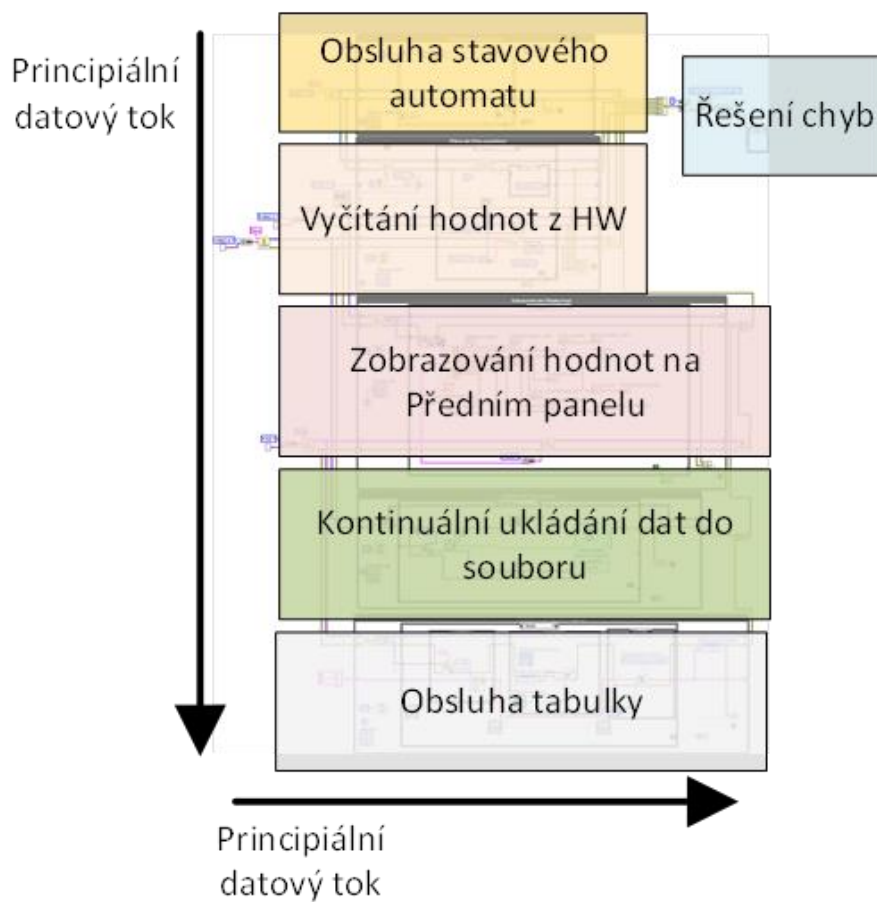
Obr. 49) znázorňuje vyčítání jednotlivých registrů. Soupis jednotlivých obsahů v daných registrů je poskytnut výrobcem zařízení. Je doporučeno vyčítat jen ty registry, které jsou zapotřebí, tudíž bylo použito tří vyčítacích funkcí. Funkce jsou zasazeny do Flat sequence struktury, která umožňuje to, aby se data vyčítala postupně a až poté se zapisovala do datového pole. Mezi jednotlivými bloky vyčítacích funkcí je umístěn časovač, kde aplikace čeká 100 milisekund, než provede další úkon. Je to z toho důvodu, že hardware dokáže provádět vyčítací úkony jen v určité rychlosti a jestliže se zahltí požadavky dojde k chybě. Takto upravená SubVI zabezpečuje bezchybné vyčítání dat.



Obr. 49) SubVI – vytvoření datového pole z vyčtených registrů

Během vytváření aplikace pro Diris A10 nebylo možné data jednoduše simulovat přes NI MAX, jako u Aplikace pro měřicí karty. Za účelem simulace byly do aplikace přidány podmínkové struktury, které simulaci umožňují. Lze je zaznamenat i na obrázcích znázorňující části blokového diagramu. Přes nastavení parametrů v projektu byly zvoleny symboly k ovládání těchto struktur. V strukturách byl vytvořen případ pro simulaci náhodně generovaných dat, který se stane aktivním, jestliže se nastavený symbol rovná jedné.

Celá struktura aplikace pro vyčítání dat z elektroměru Diris A10 se nalézá v příloze. Na Obr. 50) je znázorněno blokové schéma s funkčním popisem jednotlivých smyček.



Obr. 50) Schéma Blokového diagram aplikace pro Diris A10

7 MĚŘENÍ A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI APLIKACÍ

V této kapitole bude popsáno experimentální ověření vytvořených aplikací popsaných v předchozí kapitole. Měření bylo provedeno na asynchronním motoru. Byly testovány číselné i grafické ukazatele elektrických hodnot stejně jako dodatečné funkce aplikací. Detailní vyobrazení měřicího pracoviště lze nalézt v přílohách této diplomové práce.

7.1 Měření a ověření aplikace pro DAQ měřicí kartu

Při ověření funkčnosti aplikací byla použita vybavení popsaná v kapitole 5. Nejdříve si popíšeme postup při implementaci aplikace pro DAQ měřicí kartu s vybavením od firem LEM a NI. Měřicí karta NI-9205 byla zasunuta do CompactDAQ šasi typu cDAQ-9185. K měření byla použita hardwarová sestava se senzory napětí LV25-P a senzory proudu 205-S/SP3 znázorněna na Obr. 51). Testování sestavy se senzory proudu LAH 50-P provedeno nebylo, jelikož pro ověření funkčnosti programu to nebylo nutné.



Obr. 51) Měřicí soustava

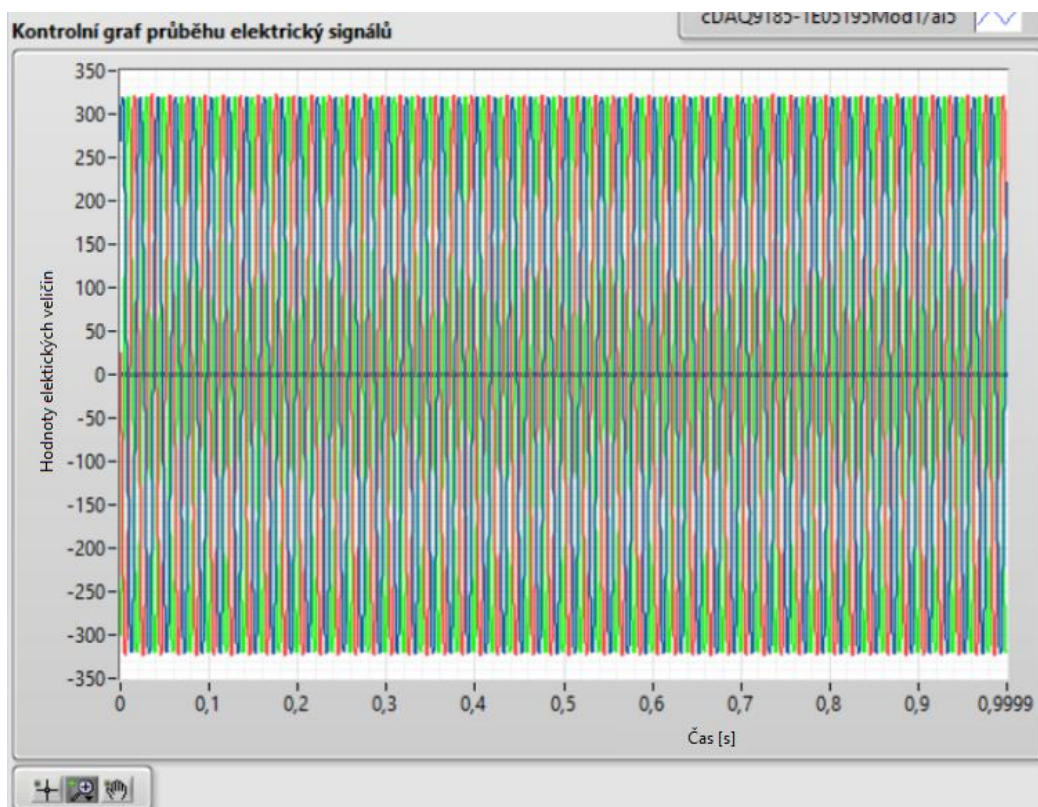
Spojení šasi s laptopem bylo provedeno ethernetovým kabelem. Po připojení měřicího hardwaru byla veškerá nastavení již provedena v uživatelském rozhraní aplikace popsaném v kapitole 6.2.1. Byly specifikovány napěťové a proudové kanály a definována maxima a minima. V případě napětí byl definovaný rozsah nastaven od -10 V do +10 V, v případě proudů zůstává rozmezí stejné, -10 A až +10 A. Dle zapojení hardwaru byly terminály vyjadřující typ uzemnění nastaveny na možnost NRSE.

Vzorkovací frekvence byla nastavena na 10 kHz. S přihlédnutím k Nyquistovu – Shannonovu teorému by stačilo zhruba 2,5 kHz, avšak vyšší vzorkovací frekvence vede ke kvalitnějším výsledkům. Nyquistův – Shannonův vzorkovací teorém udává nejmenší možnou vzorkovací frekvenci jako dvojnásobek nejvyšší harmonické složky, chceme-li přesně rekonstruovat spojitý signál. Při měření 50 Hz rozvodné sítě předpokládáme významné největší harmonické frekvence do 1kHz. Podmínkou tedy zůstává vzorkovat vstupy

elektrického napětí a elektrického proudu nejméně rychlostí 2,5 kHz, abychom zakomponovali určitou rezervu a nedocházelo k aliasingu. Avšak chceme-li detailně pozorovat průběh elektrických veličin v čase, musí být vzorkovací frekvence vyšší.

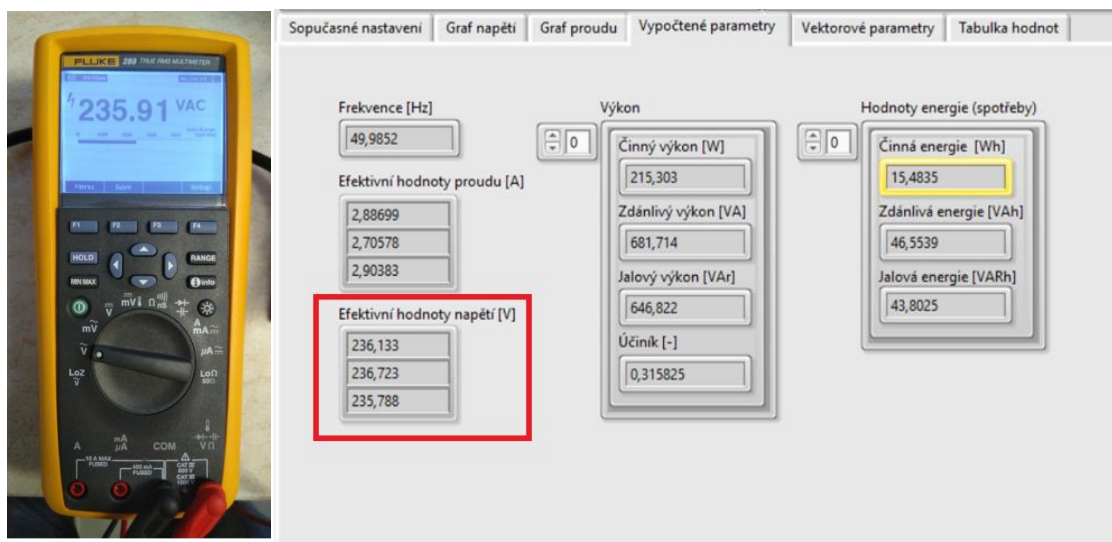
Po uvedení aplikace do stavu přijímání a vypočítávání hodnot se data začnou načítat do aplikace a zobrazovat na displejích. Velikosti hodnot signálů byly upraveny senzory před vstupem do AD převodníku. Je potřeba upravit tyto signály zpět na velikost rovnou reálným hodnotám proudů a napětí vyskytujících se v měřeném obvodu. Tato úprava se dělá za pomoci panelu „Aplikační nastavení velikostí a offsetů“. Ladění probíhá na základě znalostí o úpravách signálu před vstupem do AD převodníku. Tyto údaje jsou však jenom orientační. Jestliže chceme sestavu využívat v praxi, vždy by měla proběhnout přesná konfigurace za pomoci přesně kalibrovaného zařízení navázaného na etalony, aby naměřené výsledky mohly být brány v potaz. Měřicí systém byl v našem případě kalibrován pouze běžným multimetrem, což je v našem případě dostačující, jelikož cílem měření bylo ověřit funkčnost aplikací. Aplikační nastavení škálovaného signálu bylo v případě proudových kanálů nastaveno na hodnotu 67,08 a v případě proudových kanálů na -2,65. Úprava offsetu nebyla potřebná, tudíž hodnoty v nastavení zůstaly nulové.

Za dobu snímání signálů, přibližně 20 minut, aplikace nejevila žádné známky chybovosti. Nenastávalo zpomalování iterací, ani se nepřeplnil žádný z interních bufferů. Ověřena byla taktéž funkce zapisování hodnot do TDMS souboru. Bylo zkontrolováno, že v každém zapsaném listu existuje přesně 10 000 vzorků od každého signálu. Z čehož dle časové známky zjistíme, že se tento počet nasnímal během jedné sekundy. Jestliže bychom z těchto dat chtěli udělat graf, byl by totožný grafu na Obr. 52). Na tomto snímku byl zachycen průběh všech elektrických signálů. Detailní informace byly poté pozorovány v záložkách aplikace, jelikož hodnoty proudu jsou velice malé a z tohoto snímku nemají vypovídající hodnotu.



Obr. 52) Graf průběhů snímaných elektrických signálů

V průběhu měření byly hodnoty naměřené aplikací porovnávány s hodnotami naměřenými zařízením Fluke 289. Na Obr. 53) vidíme na displeji přístroje údaj efektivní hodnoty napětí první fáze. Při porovnání s hodnotou v uživatelském rozhraní aplikace je rozdíl minimální. Odlišnost hodnot je pravděpodobně dána nedostatečně přesnou kalibrací soustavy, změnou teploty komponentů v průběhu měření, vnějším rušením nebo šumem.



Obr. 53) Porovnání hodnot Fluke 289 s naměřenou aplikací.

Vzhledem k induktivnímu charakteru asynchronního motoru bylo po přiblížení grafů možné pozorovat lehkou deformaci sinusových průběhů a zpoždování průběhu proudu za průběhem napětí. Detailní zobrazení průběhu signálů jsou umístěna v přílohách.

7.2 Měření a ověření aplikace pro zařízení Diris A10

Při ověření vyčítací aplikace pro zařízení Diris A10 byl nejdříve elektroměr zapojen do obvodu s asynchronním motorem. Data do laptopu byla přenášena přes USB sběrnici. V případě této aplikace bylo potřeba pouze v aplikaci nastavit port, ze kterého budou do laptopu přenášeny informace a číslo zařízení Slave. Vzhledem k tomu, že všechny údaje z měření jsou již zpracovány elektroměrem Diris A10 a aplikace provádí pouze vyčítání těchto dat z registrů s drobnou úpravou formátování, pro pouhé ověření funkčnosti aplikace nepotřebujeme přítomnost dalšího elektroměru. Správnost dat samotných lze ověřit pouze zapojením dalšího referenčního elektroměru, se kterým by se naměřené hodnoty porovnávaly, avšak. Ověření správnosti hodnot vypočítaných zařízením Diris A10 není součástí této diplomové práce. Hlavním cílem bylo porovnat data získaná aplikací s údaji na displeji elektroměru. V tomto případě kontrolujeme pouze funkčnost vyčítání naměřených dat. Porovnání vyčtených dat s daty v aplikaci a hodnoty na elektroměru Diris A10 se nalézají na Obr. 54). Aktuální hodnoty zachycené na snímcích displeje elektroměru a Předním panelu aplikace se od sebe mírně liší, jelikož nejsou nasnímány ve stejný čas a průběh napětí v čase měl tendenci mírně kolísat.



Obr. 54) Porovnání hodnot aplikace a zařízení Diris A10

Dále byly ověřeny funkce ukládání údajů do souboru mimo program LabVIEW. V této aplikaci nelze získávat reálná data v tak velkém množství, jako tomu je u aplikace předchozí. Nedostáváme údaje o aktuálních průbězích elektrických signálů, ale pouze jejich zprůměrované hodnoty. Nastavení vzorkování je plně na elektroměru Diris A10 a nelze jej měnit. Z tohoto důvodu kontinuální zapisování do souboru nemá tak velký smysl jako zapisování a ukládání dat do tabulky. Na Obr. 55) vidíme nasnímané údaje v tabulce, které jsou na pokyn uživatele uloženy do souboru v počítači. Velice jednoduše by se dal do aplikace implementovat přenos takovýchto informací na dálku a vyhodnocovat je v určitém datovém středisku.

Kontrola průběhů smyček

Iterace ovládání

4888

Přijímání dat

491

Display dat

491

Ukládání dat

491

Ukládání do tabulky

491

Spustit

Pauza

Rekonfigurace

Exit

Zadaná konfigurace - přijímání informací

Graf napětí

Graf proudu

Tabulka hodnot

	Datum	Čas	S RMS U	S RMS U	S RMS U	F RMS U	F RMS U	F RMS U	F RMS U	Frekvence	RMS I1	RMS I2	RMS I3	RMS In	P [W]	Q [var]	S [VA]	W[kWh]	W[kvar]	W [kVA]
0	23.06.20	16:53:10	409,9200	409,4200	408,5800	236,1000	236,7800	236,0600	50,010000	2,732000	2,552000	2,732000	0,600000	1,760000	1,880000	1,628000	0,065535	0,032767	0,09830	
1.	23.06.20	16:53:11	409,9100	409,3800	408,5100	236,0700	236,7800	236,0300	50,010000	2,728000	2,552000	2,732000	0,600000	1,760000	1,880000	1,628000	0,065535	0,032767	0,09830	
2.	23.06.20	16:53:14	409,9800	409,4100	408,5100	236,0900	236,8300	236,0200	50,010000	2,732000	2,552000	2,732000	0,600000	1,760000	1,880000	1,628000	0,065535	0,032767	0,09830	
3.	23.06.20	16:53:17	409,8600	409,2900	408,3300	236,0200	236,7500	235,9200	50,010000	2,728000	2,552000	2,728000	0,600000	1,760000	1,880000	1,628000	0,065535	0,032767	0,09830	
4.	23.06.20	16:53:18	409,7900	409,1700	408,2500	235,9800	236,6900	235,8700	50,010000	2,732000	2,552000	2,724000	0,600000	1,760000	1,880000	1,628000	0,065535	0,032767	0,09830	
5.	23.06.20	16:53:19	409,5800	408,9400	408,0600	235,8800	236,5600	235,7300	50,010000	2,724000	2,548000	2,724000	0,600000	1,760000	1,880000	1,624000	0,065535	0,032767	0,09830	
6.	23.06.20	16:53:20	409,4800	408,7800	407,9400	235,8100	236,4900	235,6500	50,010000	2,728000	2,548000	2,720000	0,600000	1,760000	1,880000	1,624000	0,065535	0,032767	0,09830	
7.	23.06.20	16:54:43	409,2200	409,4900	409,2000	236,0900	236,4200	236,4300	49,980000	2,724000	2,532000	2,768000	0,600000	1,760000	1,880000	1,632000	0,065535	0,032767	0,09830	
8.																				
9.																				
10.																				
11.																				
12.																				

Vyber řádek

Zaznamenat

2

Smazat

Uložit

Definice souboru

Obr. 55) Tabulka získaných hodnot

8 ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce bylo vyvinout a implementovat aplikaci pro měření spotřeby elektrické energie u strojních zařízení. Z tohoto důvodu byly v úvodní části práce vymezeny základní pojmy a představeny základní veličiny v oblasti měření elektrické energie. Dále se řešeršní část práce věnovala detailnímu popisu metod, kterými lze elektrické veličiny kvantifikovat. Byly popsány starší analogové metody měření elektrických veličin i modernější digitální metody s popisem přístrojů používaných v praxi. Kapitola 4 detailně popisuje základní principy systémů pro pořizování dat se zaměřením na DAQ platformy od firmy National Instruments.

Základní prvky tří soustav pro měření elektrických veličin využité v praktické části této diplomové práce jsou představeny v kapitole 5. Byly zmíněny principy fungování základních prvků se všemi potřebnými parametry a způsobem zapojení. Dále bylo představeno programové prostředí LabVIEW, jeho základní parametry a charakteristika každé z navržených aplikací. Byl kladen velký důraz na popis grafického uživatelského prostředí aplikace i s principy jeho fungování. Zvolená architektura QSM – PC byla představena čtenáři spolu s důvody jejího výběru.

Celkem byly vytvořeny dvě samostatné aplikace. První je určena pro vyčítání hodnot z registrů elektroměru Diris A10. Druhá pro přijímání dat z měřicí karty od firmy NI a jejich následnou analýzu. Takto bylo učiněno, jelikož vyčítání parametrů z elektroměru Diris A10 od firmy Socomec je funkčně velmi odlišné od měření aktuálních průběhů signálů z měřicí karty od NI. Kombinace obou funkcionalit v jedné multifunkční aplikaci byla zhodnocena jako neúčelná a nebyl nalezen žádný logický důvod pro jejich sloučení. Vytvořené aplikace byly vyvinuty co nejvíce obecným způsobem, aby do nich v rámci potřeb mohly být doimplementovány další specifické moduly jako například periodické odesílání dat na dálku či vytváření statistik.

Aplikace byly úspěšně implementovány s hardwarovými prvky a ozkoušeny při reálném měření. Měření bylo realizováno na asynchronním motoru v prostoru laboratoří Fakulty strojní inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Aplikace prokázaly požadovanou funkčnost kontinuálního snímání elektrických parametrů, včetně hodnoty spotřebované elektrické energie. Aplikace mají plně funkční rozhraní pro export dat do souboru mimo aplikaci LabVIEW. Data lze kontinuálně zapisovat do souboru TDMS nebo ukládat přes vhodnou interakci s uživatelským rozhraním do tabulky a následně exportovat do souboru.

I když by se dala aplikace vylepšit o další moduly či optimalizovat její průběh a ušetřit náročnost na výkon procesoru, tak aplikace hodnotím jako spolehlivé a použitelné pro kontinuální vyčítání hodnot parametrů elektrické energie, zvláště poté hodnot spotřeby elektrické energie u strojních zařízení. Využití aplikace a celého systému vidím v produkčních a testovacích systémech, kde mohou zastoupit analyzátory elektrických proudů, které bývají v některých případech příliš drahé vzhledem k nabízené funkcionalitě.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] OTČENÁŠEK, Petr. *Elektroenergetika ve 21. století*. [online]. Praha: CEZ, 2006, s. 83 [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/elekticka-energie-cr.pdf>
- [2] Consumption of electricity worldwide from 1980 to 2016. *Statista* [online]. Statista, 2020 [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/280704/world-power-consumption/>
- [3] SVOBODA, Emanuel. *Nové definice základních jednotek SI*. [online] Praha: ČVUT, 2019 [cit.2019-11-23]. Dostupné z: http://mfi.upol.cz/files/28/2803/mfi_2803_190_201.pdf
- [4] The International System of Units (SI) [online]. BIPM – Pavillon de Breteuil F-92312 Sèvres Cedex FRANCE: BIPM, 2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.bipm.org/en/measurement-units/>
- [5] Kolektiv autorů: *Elektrotechnická měření*: BEN – technická literatura, 2002, ISBN 80-7300-022-9.
- [6] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER, DUB, Petr, ed. *Fyzika. 2., přeprac. vyd.* Přeložil Miroslav ČERNÝ. Brno: VUTIUM, c2013. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-4123-1
- [7] PRAŽSKÁ ENERGETIKA, A. S. *Elektroměry Historie a současnost*. [online] Praha: PRE, 2009. [cit.2019-11-23] Dostupné z: <https://www.premereni.cz/Files/dulezite-informace/ke-stazeni/tiskoviny-ke-stazeni/elektromery-historie-a-soucasnost/>
- [8] HÁJEK, Zdeněk. *Měřič spotřeby elektrické energie* [online]. Brno, 2011. [cit.2020-01-06] Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/54121>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních studií. Vedoucí práce Václav Šimek.
- [9] Integrovaný operační zesilovač. Physics.mff.cuni.cz [online]. PRAHA: Univerzita Karlova [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/kap3/3_0.html
- [10] EDEL, T. G.: *A-C Current transformer functional with a D-C current component present*. 2005, U.S. Patent No.: 6954060.
- [11] Co je, k čemu je a jak funguje Rogowského cívka. Automatizace.hw.cz [online]. PRAHA: HW server s.r.o., 2007 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/co-je-k-cemu-je-jak-funguje-rogowskeho-civka>
- [12] MRÁZEK, Vojtěch. *Zařízení pro inteligentní měření spotřeby elektrické energie*. [online]. Brno, 2011. [cit.2020-01-05] Dostupné z: https://primo.lib.vutbr.cz/permalink/f/1roshr/420BUT_DSpace11012/55220. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních studií. Vedoucí práce Zdeněk Vašíček.
- [13] VLACHOPULOS, Tanasis. *Mikropočítačový řídicí modul pro silová zařízení*. [online]. Ostrava, 2016. [cit.2020-01-05] Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/116308/VLA0054_FEI_B2647_2612R025_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=n. Bakalářská práce, Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Petr Olivka
- [14] National Instruments (NI) [online]. Austin: Texas, USA: National Instruments, 2019 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/>

- [15] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Ilustroval Viktorie VLACHOVÁ. Praha: BEN – technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [16] Annual report 2018. [online] Austin, Texas, USA: National Instruments, 2019 [cit. 2019-11-24]. Dostupné také z: <https://www.ni.com/pdf/nati/us/10k-18.pdf>
- [17] LEM [online]. Ženeva: LEM, 2014 [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://www.lem.com/en>
- [18] Socomec [online]. Benfeld: Socomec, 2005 [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: https://www.socomec.com/Home_en.html
- [19] JCGM100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. [online] Paříž: BIPM, 2008 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: https://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf
- [20] Český metrologický institut [online]. Brno: ČMI, 2010 [cit. 2020-1-28]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/node/111>
- [21] Multifunkční proudový transformátor. *HOTAIR* [online]. Ostrava: HotAir.cz, 2007 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.hotair.cz/detail/mericipristroje/multifunkcni-vestavne-meridlo-elektrickych-velicin-ac-80-260v-100a-proudovy-transformator-oteviratelny.html>
- [22] Klešťové měřiče AC proudu. *Pajtech* [online]. Praha: Pajtech, 2017 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: https://pajtech.cz/kleov-mie-ac-proudu-c-1_326_137_330.html
- [23] RobotDyn Hallův senzor. *Laskarduino* [online]. Rychnov nad Kněžnou: Laskarduino, 2019 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: https://www.laskarduino.cz/robotdyn-halluv-senzor/?gclid=EAIaIQobChMIrJnku9PY5gIVTETtCh3LHQFDEAkYAYABEgImKvD_BwE
- [24] BRTNÍK, Bohumil. *Elektrická měření pro bakaláře*. Praha: BEN – technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-405-7.
- [25] General Catalogue [online]. Benfeld: Socomec, 2017. [cit. 2020-1-15] Dostupné z: https://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/SCP/pdf_catalogue/GB/cat_dirisa10_en.pdf
- [26] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Ilustroval Viktorie VLACHOVÁ. Praha: BEN – technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [27] NI-9205. National Instruments [online]. Austin: NI, 2020 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/support/model.ni-9205.html>
- [28] Current Transducer LF 205-S/SP3. [online]. Ženeva: LEM, 2011 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: https://www.lem.com/sites/default/files/products_datasheets/lf_205s_sp3.pdf
- [29] Current Transducer LAH 50-P. [online]. Ženeva: LEM, 2011 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: https://www.lem.com/sites/default/files/products_datasheets/lah_50_p.pdf
- [30] MACHALA, Libor. *Teorie signálů a informace I.* [online]. Olomouc: UPOL, 2019, [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/predmety-kef-slo/teorie-signalu-informace-1>
- [31] SROVNAL, Vilém. *Elektrotechnická měření: měřicí přístroje: pro SPŠ elektrotechnické*. Praha: Informatorium, 2008. ISBN 978-80-7333-062-0.

- [32] BARTUŠEK, Karel, Eva GESCHEIDTOVÁ, Radek KUBÁSEK, Jan MIKULKA, Jiří REZ a Miloslav STEINBAUER. *Měření v elektrotechnice*. 2., přeprac. a dopl. vyd. Brno: VUTUM, 2010, 212 s. ISBN 978-80-214-4160-6.
- [33] Co je to multimetr, jaké druhy existují a jak vybrat ten správný. [online]. Praha: Conrad, 2018 [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://blog.conrad.cz/co-je-to-multimetr-jake-druhy-existuji-a-jak-vybrat-ten-spravny/>
- [34] ŠTEFANY, Martin *Zigbee zařízení pro monitorování spotřeby elektrické energie*. [online] Diplomová práce. Brno, 2012. [cit. 2020-03-06] Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54204
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, Vedoucí práce Milan Šimek
- [35] Revizeshop [online]. Stará Tura: MERCONTROL, 2017. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.revizeshop.cz/C-A-8436-Trifazovy-analyzator-elektricky-ch-siti>
- [36] National Instruments (NI) [online]. Austin, Texas, USA: National Instruments, 2019 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <http://www.ni.com/tutorial/3023/en/>
- [37] SMETANA, Jaroslav. *Monitoring kvality elektrické energie a jak na něj* [online]. Praha: Blue-panther, 2016 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/monitoring-kvality-elektricke-energie-a-jak-na-nej/>
- [38] Hardware pro monitoring kvality elektřiny [online]. Praha: Elcom, 2010 [cit. 2020-04-13]. Divize Virtuální instrumentace. Dostupné z: <https://www.elcom.cz/produkt/ena441/>
- [39] Detailní informace pro: A44 213-100: ABB Group [online]. Curych: ABB, 2020 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/cs/2CMA170531R1000/active-energy-class-1-or-b-for-mid-meters-reactive-energy-class-2>
- [40] Introduction to Modbus using LabVIEW[online]. Austin, Texas, USA: National Instruments, 2019 [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/innovations/white-papers/12/introduction-to-modbus-using-labview.html>

10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1 Seznam obrázků

Obr. 1) Graf spotřeby elektrické energie ve světě [2]	15
Obr. 2) Signály [30]	18
Obr. 3) Rozdělení typů signálů	19
Obr. 4) Metody snímání elektrických veličin	20
Obr. 5) Magnetoelektrický přístroj [5]	21
Obr. 6) Magnetoelektrický přístroj s hrotovým uložením [5]	22
Obr. 7) Feromagnetický (elektromagnetický) přístroj [5]	23
Obr. 8) Schéma elektrodynamického ústrojí [5]	24
Obr. 9) Schéma ferodynamického přístroje [5]	25
Obr. 10) Schéma indukčního přístroje [5]	26
Obr. 11) Schéma bimetalového přístroje [5]	28
Obr. 12) Schéma elektrostatického ústrojí [5]	28
Obr. 13) Jazyčkový kmitoměr [5]	29
Obr. 14) Bočník	30
Obr. 15) Proudový transformátor	31
Obr. 16) Znázornění Rogowského cívky	31
Obr. 17) Grafické znázornění Hallova jevu	32
Obr. 18) Odporový dělič	33
Obr. 19) Multimetru [33]	33
Obr. 20) Zapojení voltmetru a ampérmetru při měření nepřímou metodou v stejnosměrné soustavě [32]	34
Obr. 21) Zapojení pro měření trojfázového výkonu v nesymetrické soustavě [24]	35
Obr. 22) Aronovo zapojení [5]	36
Obr. 23) Základní schéma wattodinového elektroměru [5]	36
Obr. 24) Točivý analogový elektroměr pro střídavý proud [5]	37
Obr. 25) Elektroměry	38
Obr. 26) Samostatná zařízení pro měření spotřeby elektrické energie [34]	39
Obr. 27) Přenosný třífázový analyzátor elektrických sítí C.A 8436 [35]	40
Obr. 28) Analyzátor ENA441 [38]	40
Obr. 29) Systém komplexního monitoringu elektrické sítě [37]	41

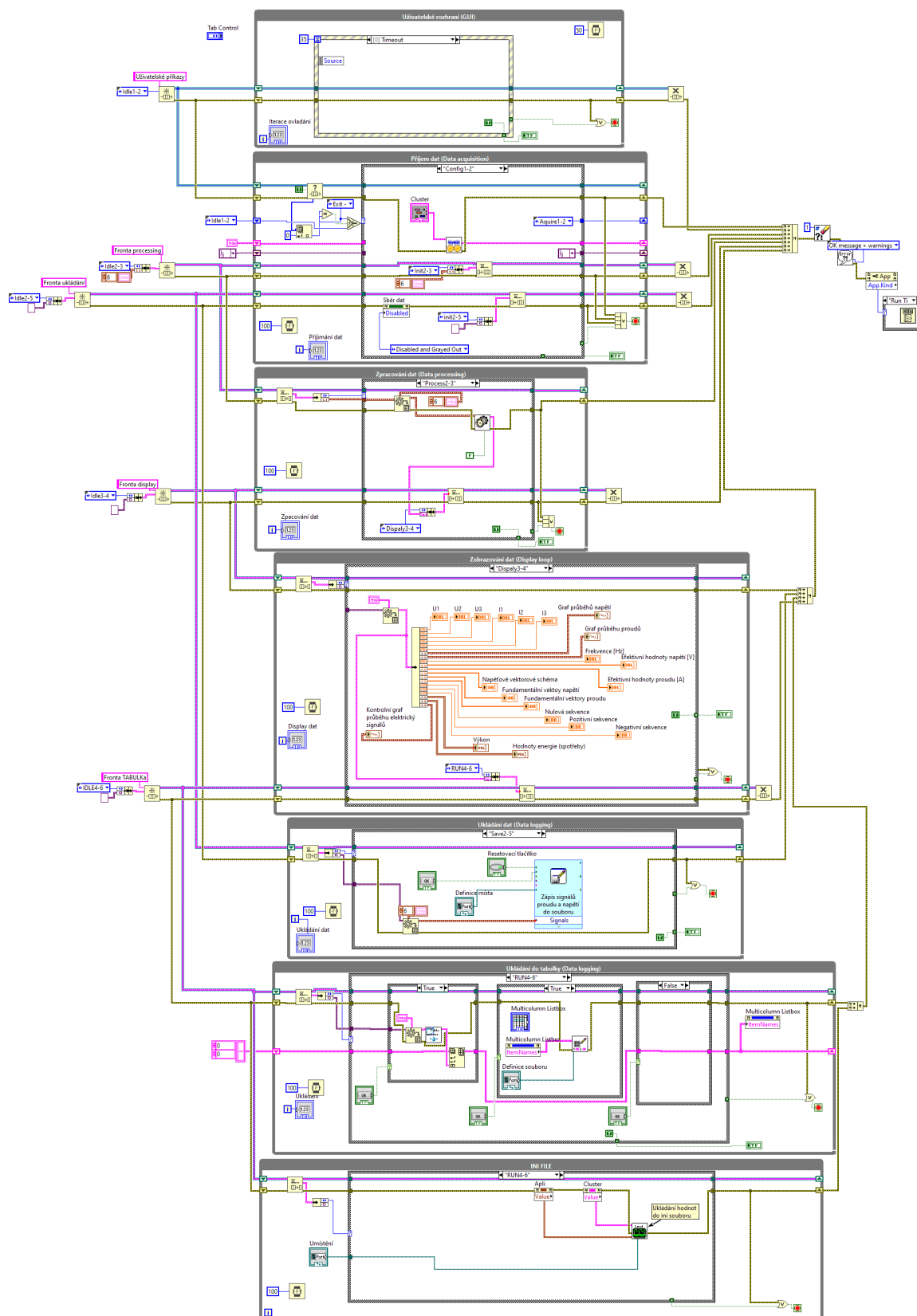
Obr. 30) Hlavní části DAQ systémů [14]	45
Obr. 31) PXI platforma [14]	48
Obr. 32) CompactDAQ šasi [14].....	48
Obr. 33) CompactRIO [14]	49
Obr. 34) Platforma NI-9205 C [27]	50
Obr. 35) Senzor napětí LV25-P [17]	51
Obr. 36) Proudový senzor LF 205-S/SP3 [28]	52
Obr. 37) proudový senzor LAH 50-P [29]	52
Obr. 38) Zařízení Diris A10 [25]	53
Obr. 39) Schéma – Přední panel aplikace	55
Obr. 40) Tabulka hodnot	57
Obr. 41) Vypočtené parametry	57
Obr. 42) SubVI – vyčítání dat z hardwaru	58
Obr. 43) SubVI – výpočet elektrických parametrů	59
Obr. 44) Schéma Blokového diagramu aplikace pro DAQ systém	59
Obr. 45) Spolupráce zařízení Master/Slave [40]	60
Obr. 46) Bloky funkcí pro Modbus komunikaci v LabVIEW	60
Obr. 47) Schéma – Přední panel aplikace pro Diris A10	61
Obr. 48) SubVI – vytvoření Serial master instance.....	62
Obr. 49) SubVI – vytvoření datového pole z vyčtených registrů.....	62
Obr. 50) Schéma Blokového diagram aplikace pro Diris A10.....	63
Obr. 51) Měřicí soustava	64
Obr. 52) Graf průběhů snímaných elektrických signálů	65
Obr. 53) Porovnání hodnot Fluke 289 s naměřenou aplikací.....	66
Obr. 54) Porovnání hodnot aplikace a zařízení Diris A10	67
Obr. 55) Tabulka získaných hodnot.....	67

10.2 Seznam zkratek

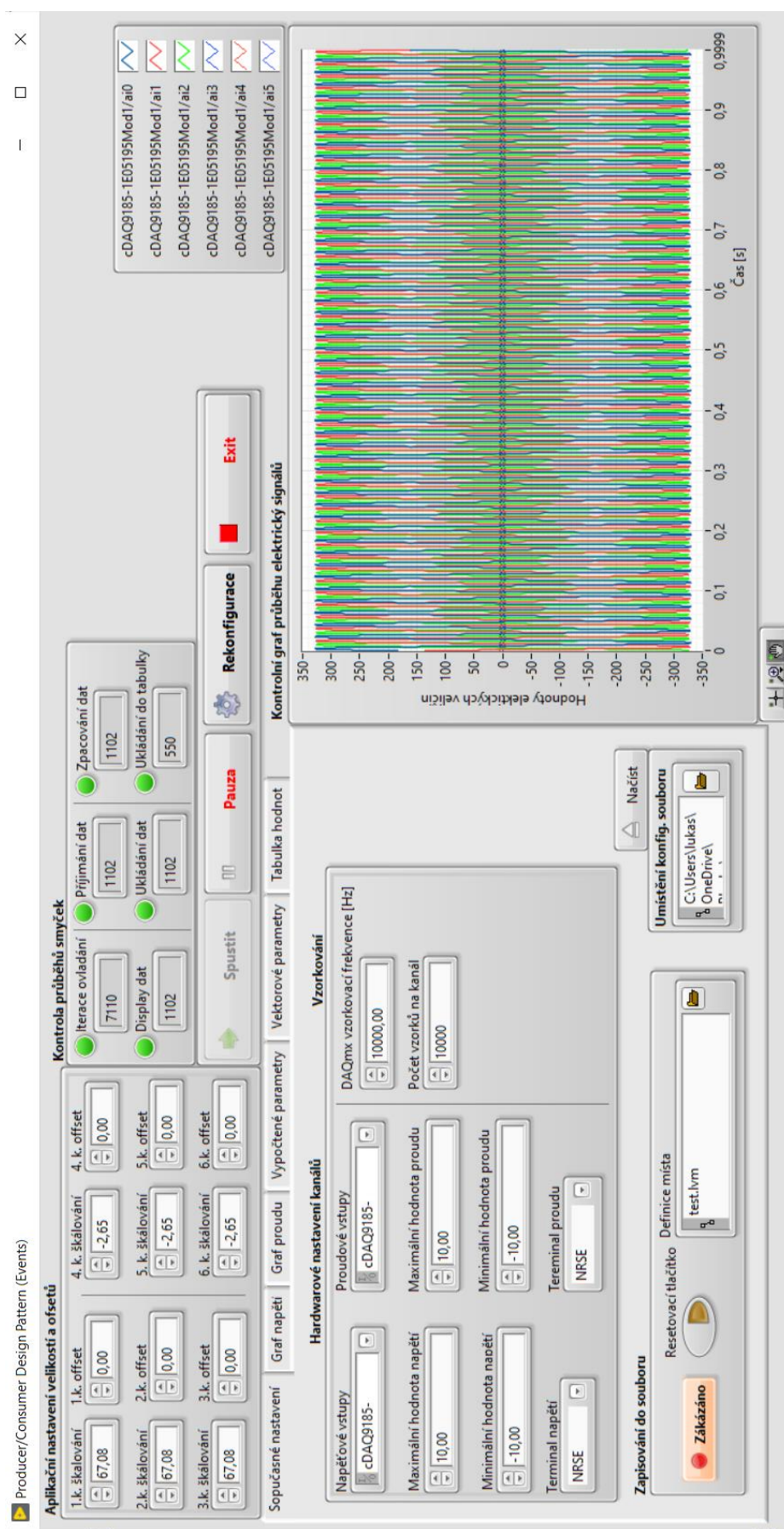
API	Application Programming Interface (Rozhraní pro programování aplikací)
ČSN	Označení českých technických norem
DAQ	Data Acquisition Systems (Systémy pro pořizování dat)
EN	Zkratka pro Evropskou normu
FIFO	First-in/First-out (první dovnitř, první ven) logistické označení příjmu a odebrání dat z front
IEC	International Electrotechnical Commission (Mezinárodní elektrotechnická komise)
ISO	International Organization for Standardization (Označení mezinárodních technických norem)
I/O server	Input/output server (Vstupní/výstupní server)
NRSE	Non-Referenced Single Ended (Plovoucí zdroj napětí s přizemněním na straně měřicího přístroje)
OPC server	Ole for Process Control (Komunikační protokol, jehož cílem je vytvořit jednotné komunikační rozhraní mezi hardware a software produkty průmyslové automatizace)
PLC	Programmable Logic Controller (Programovatelný logický automat)
QSM – PC	Queue stated machine – Producer/Consumer (Stavový automat – Producent/Konzument struktura)
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Systém pro dohled, řízení a sběr dat)
SI	Le Système International d'Unités (Mezinárodní systém jednotek)
TDMS	Technical Data Management Streaming File (Streamovací soubor pro správu technických dat)
USB	Universal serial bus (univerzální sériová sběrnice)
Δv_{Cs}	Definice základní jednotky času dle nové definice z 20. května 2019

11 SEZNAM PŘÍLOH

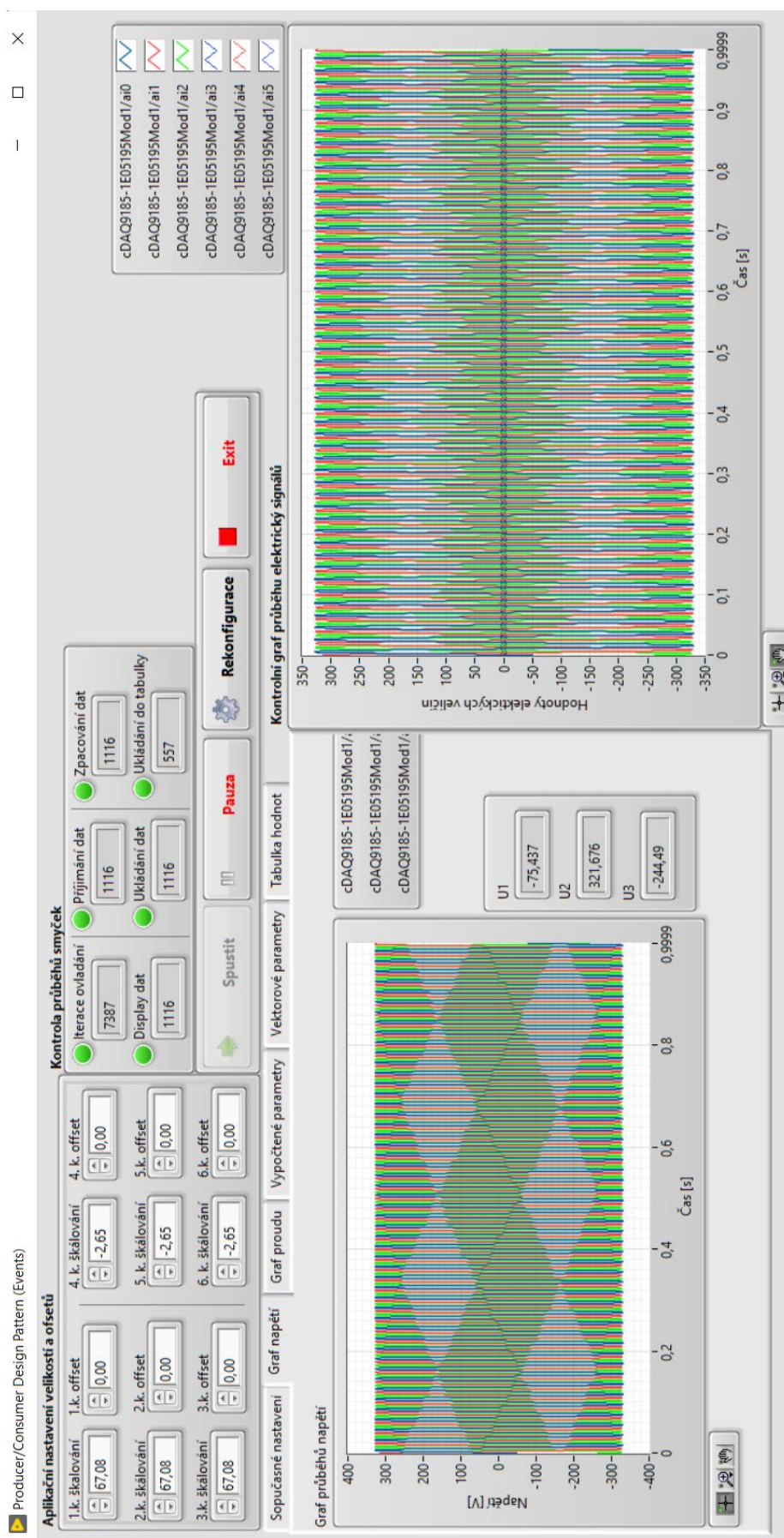
Příloha 1. Blokové schéma aplikace pro DAQ měřicí kartu



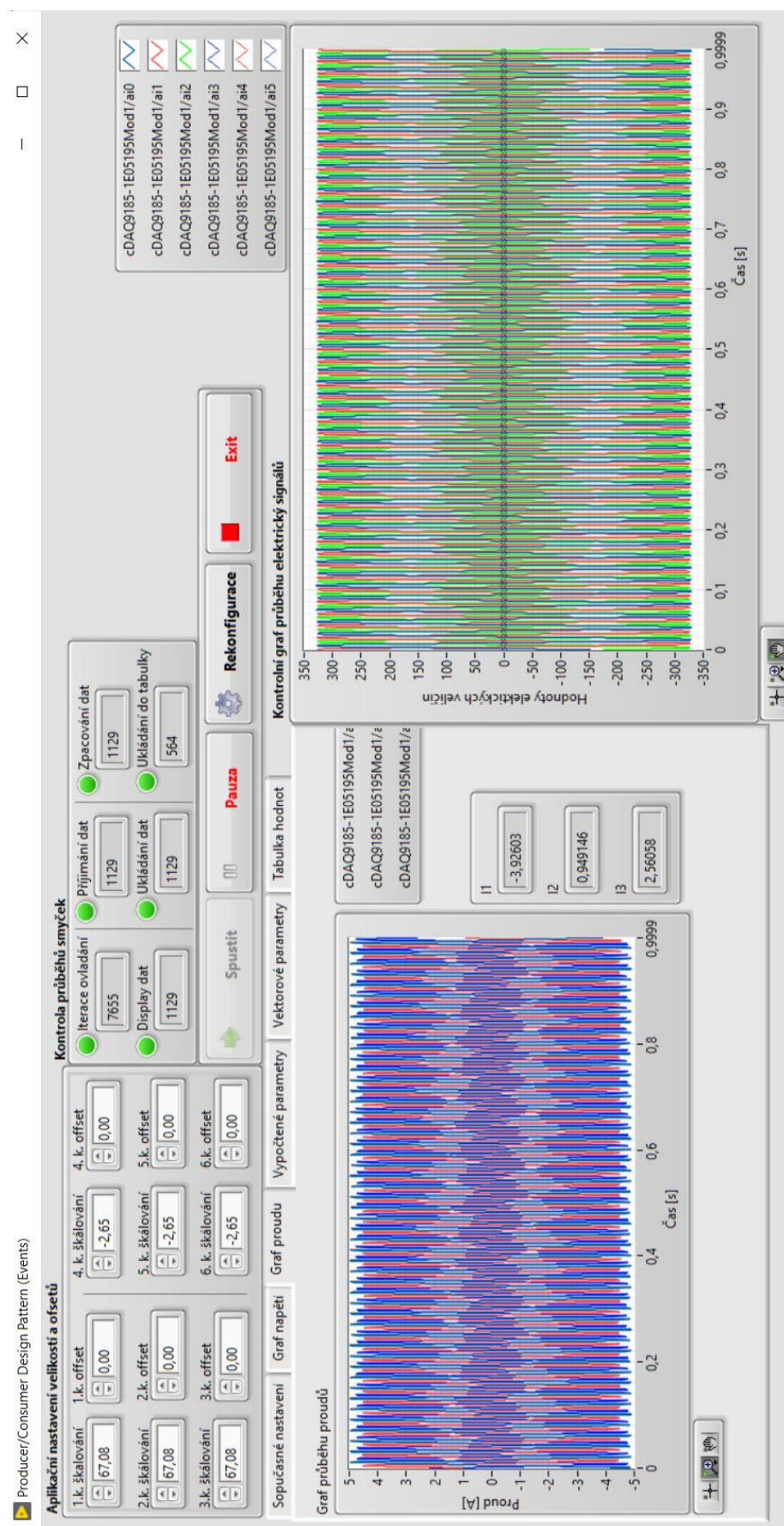
Příloha 2. Přední panel aplikace pro DAQ měřicí kartu – Výchozí náhled



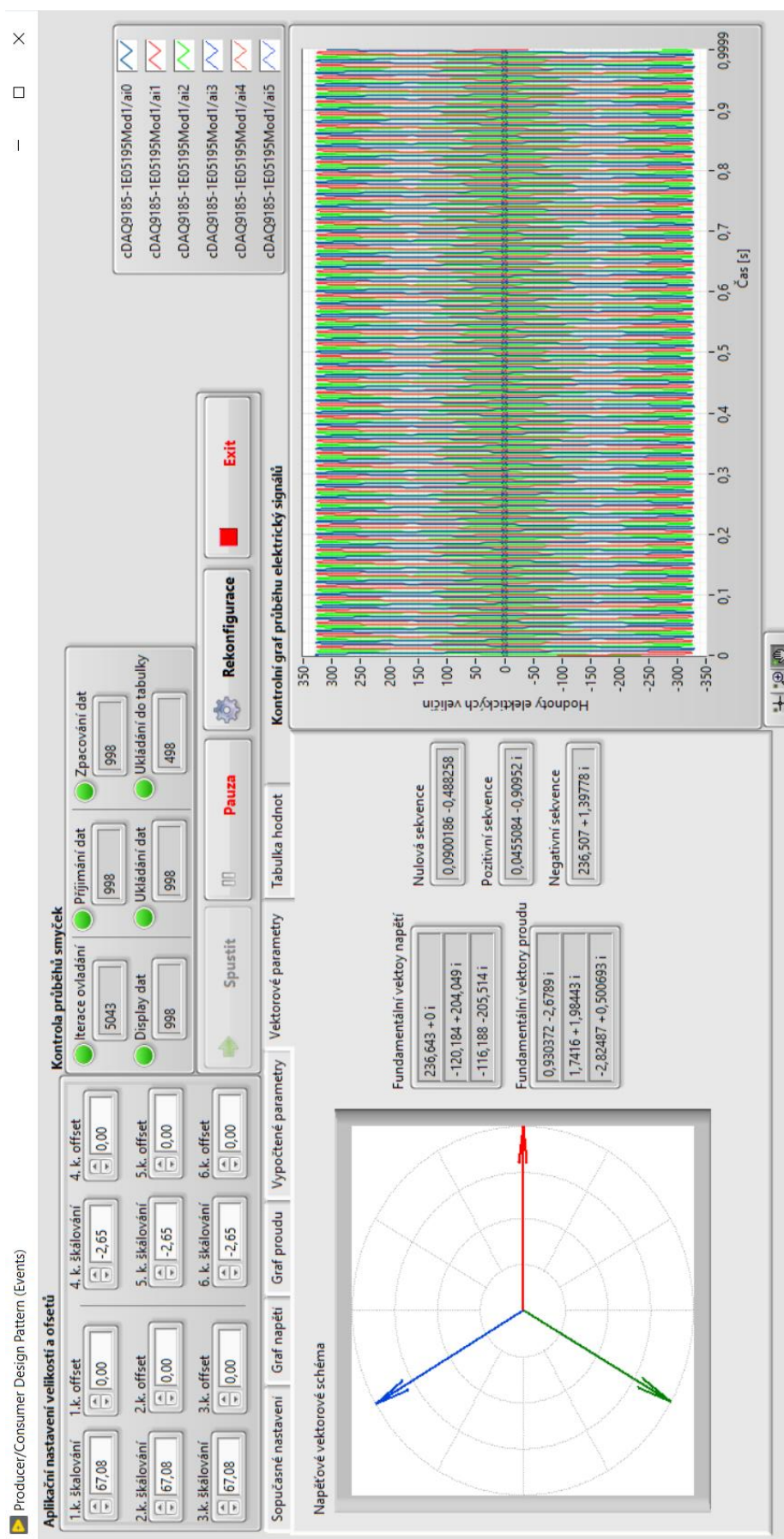
Příloha 3. Přední panel aplikace pro DAQ měřicí kartu – Graf napětí



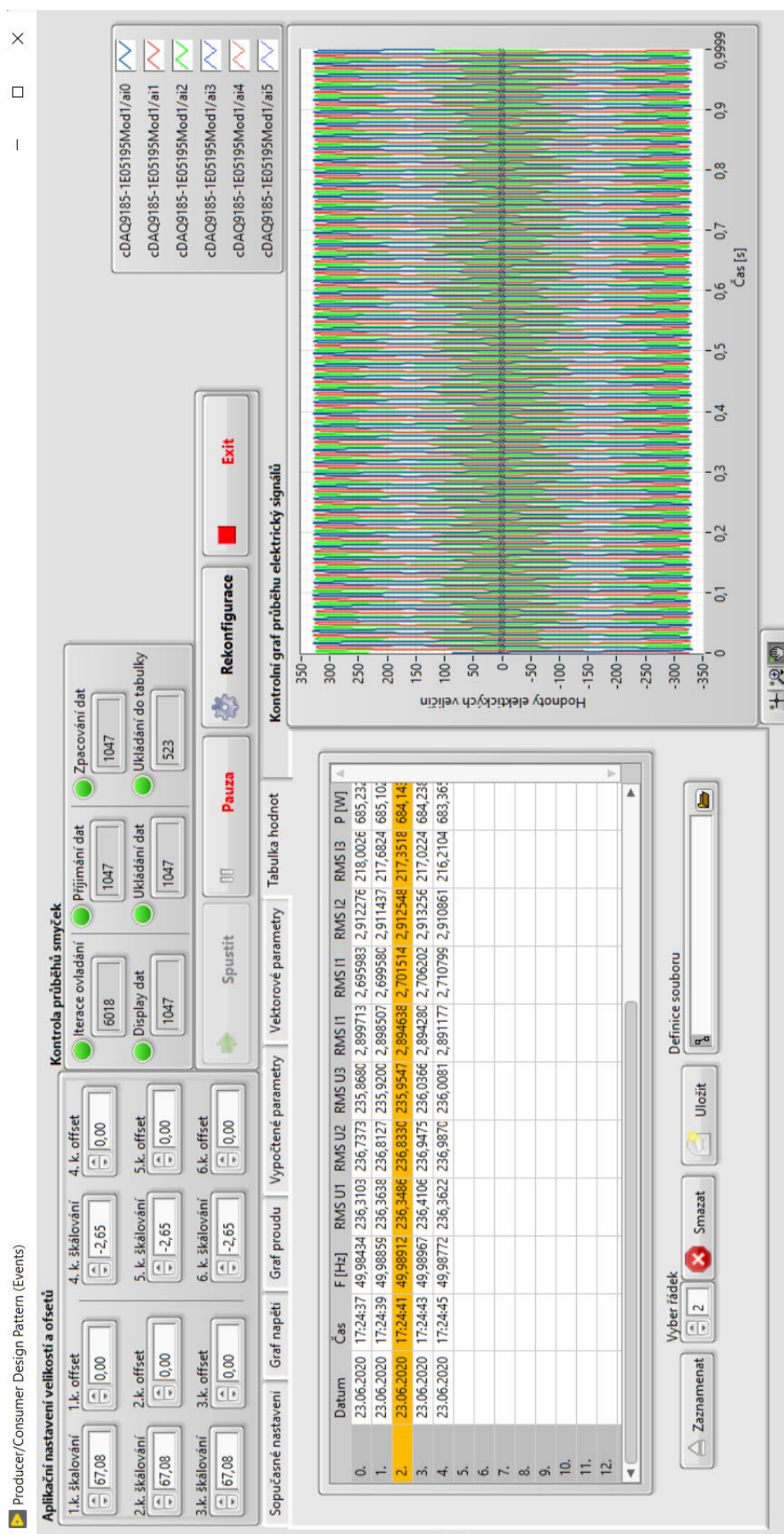
Příloha 4. Přední panel aplikace pro DAQ měřicí kartu – Graf proudu



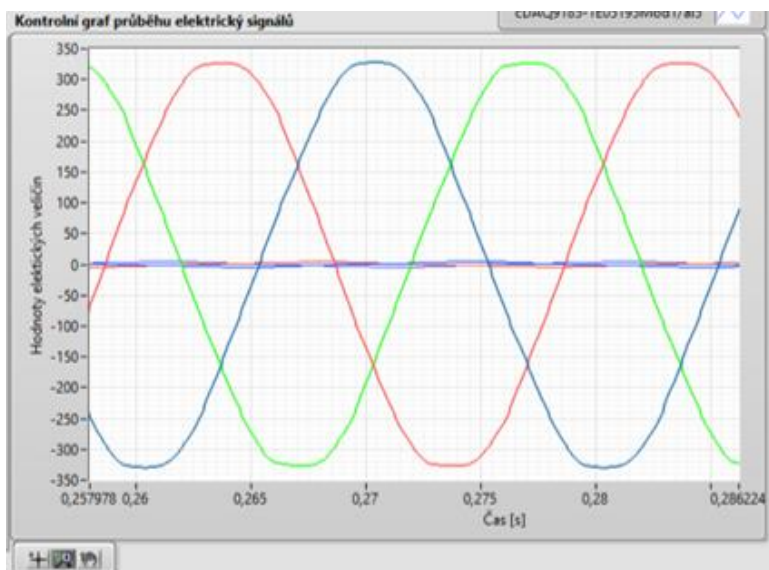
Příloha 5. Přední panel aplikace pro DAQ měřicí kartu – Vektorové parametry



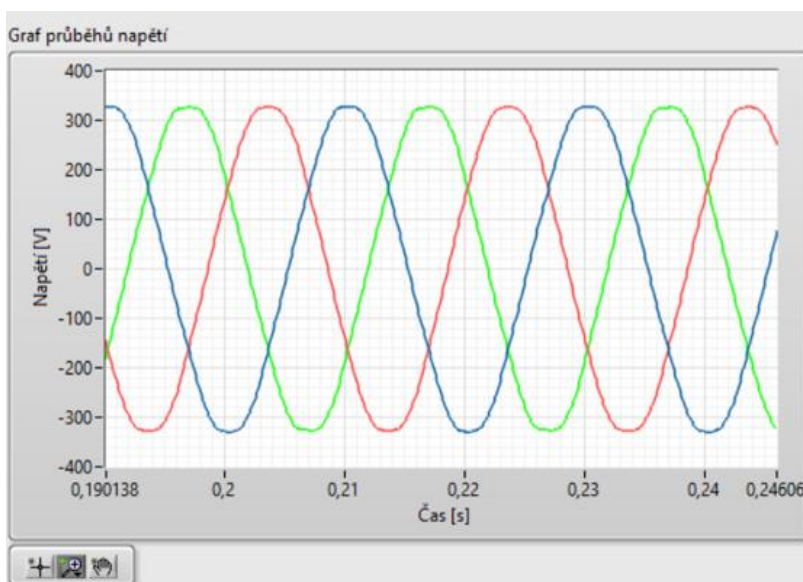
Příloha 6. Přední panel aplikace pro DAQ měřicí kartu – Tabulka hodnot



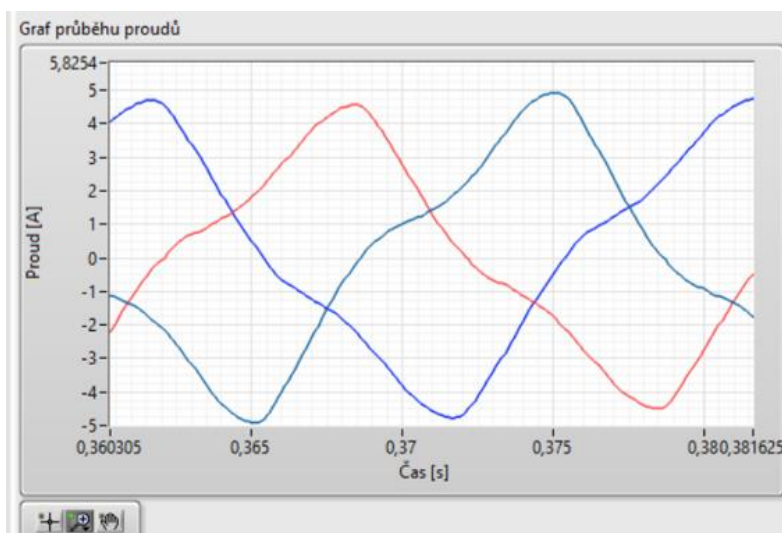
Příloha 7. Aplikace pro DAQ měřicí kartu – Detailní zobrazení kontrolního grafu



Příloha 8. Aplikace pro DAQ měřicí kartu – Detailní zobrazení průběhu napětí



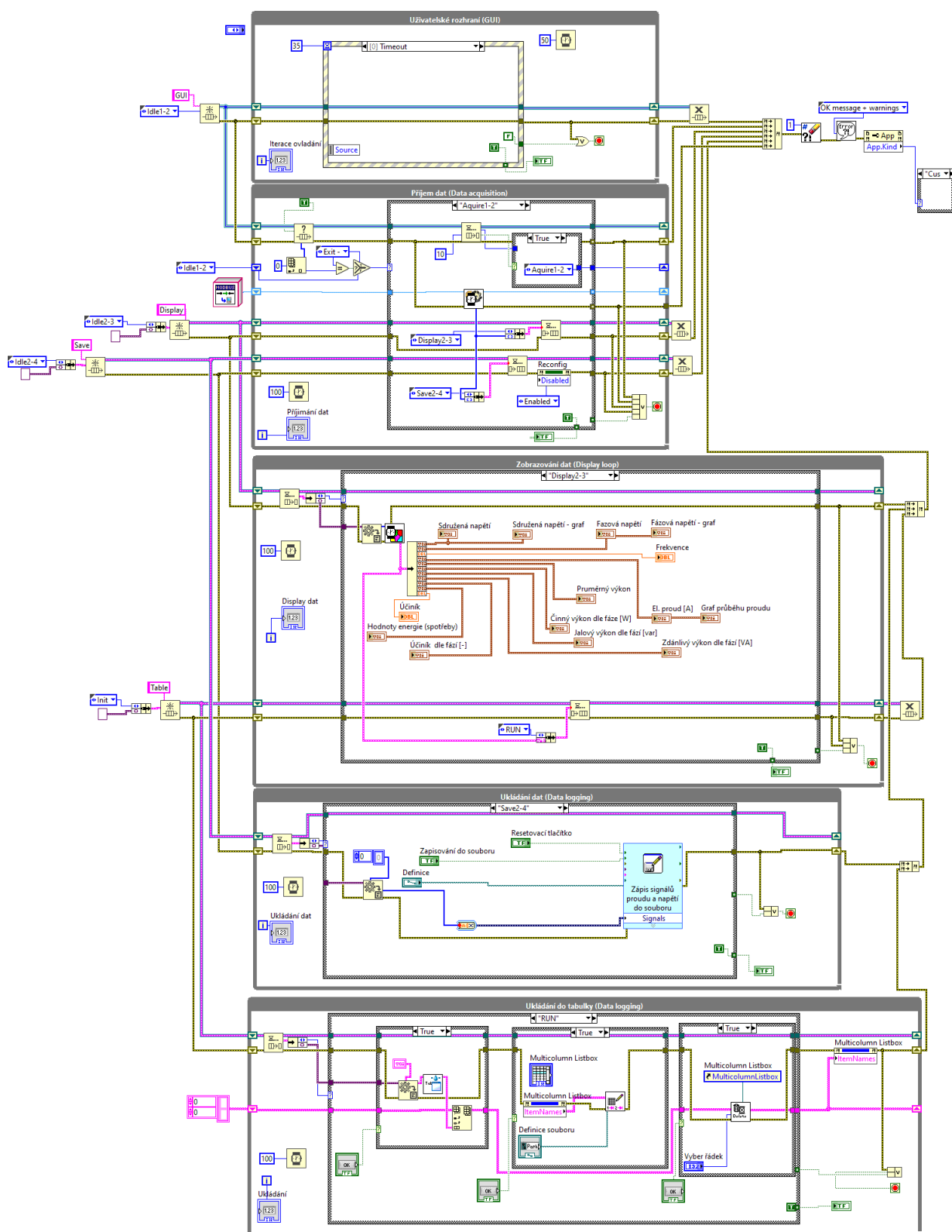
Příloha 9. Aplikace pro DAQ měřicí kartu – Detailní zobrazení průběhu proudů



Příloha 10. Vzhled pracoviště při ověřování aplikace pro DAQ měřící kartu

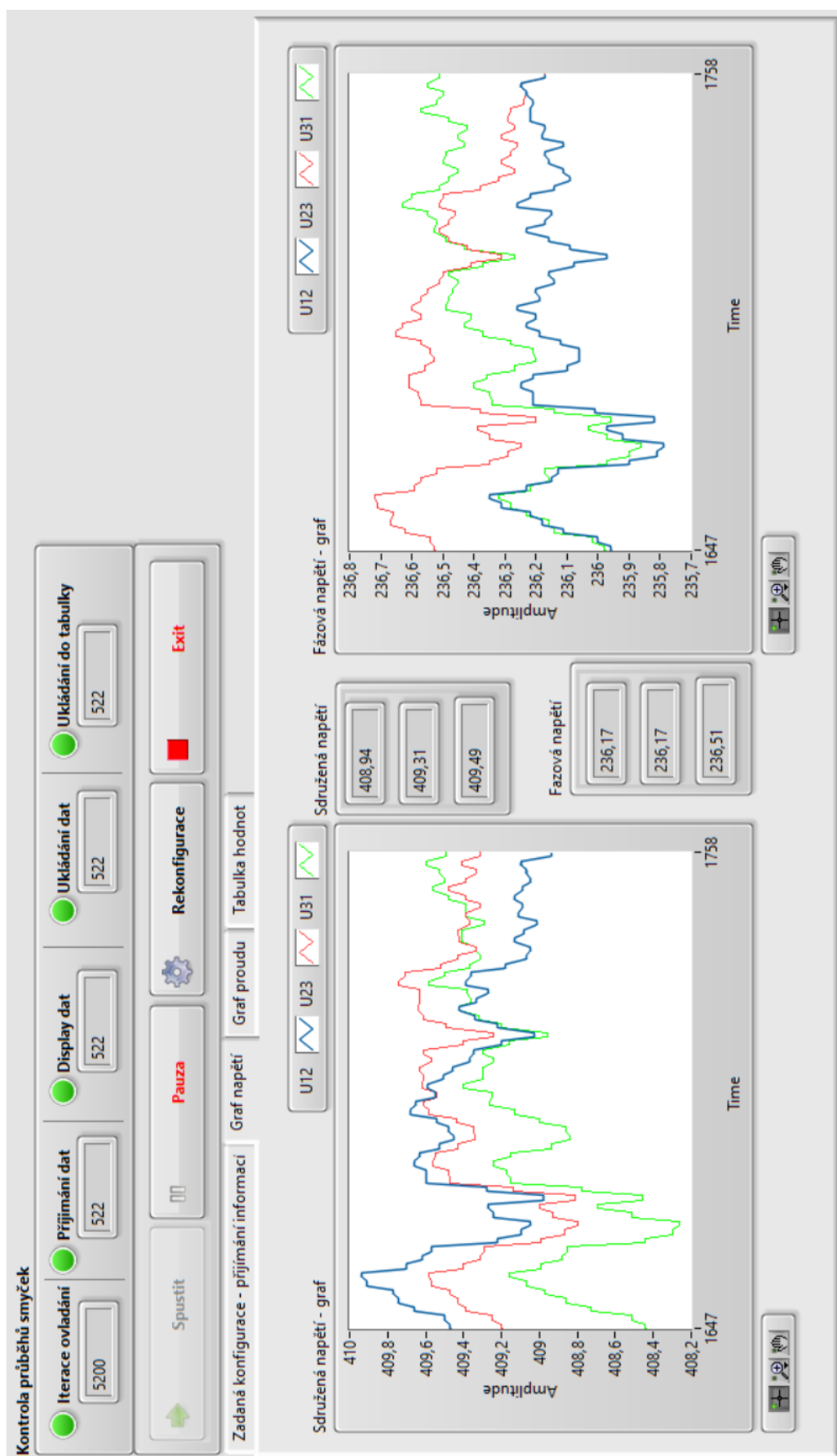


Příloha 11. Blokové schéma aplikace pro Diris A10

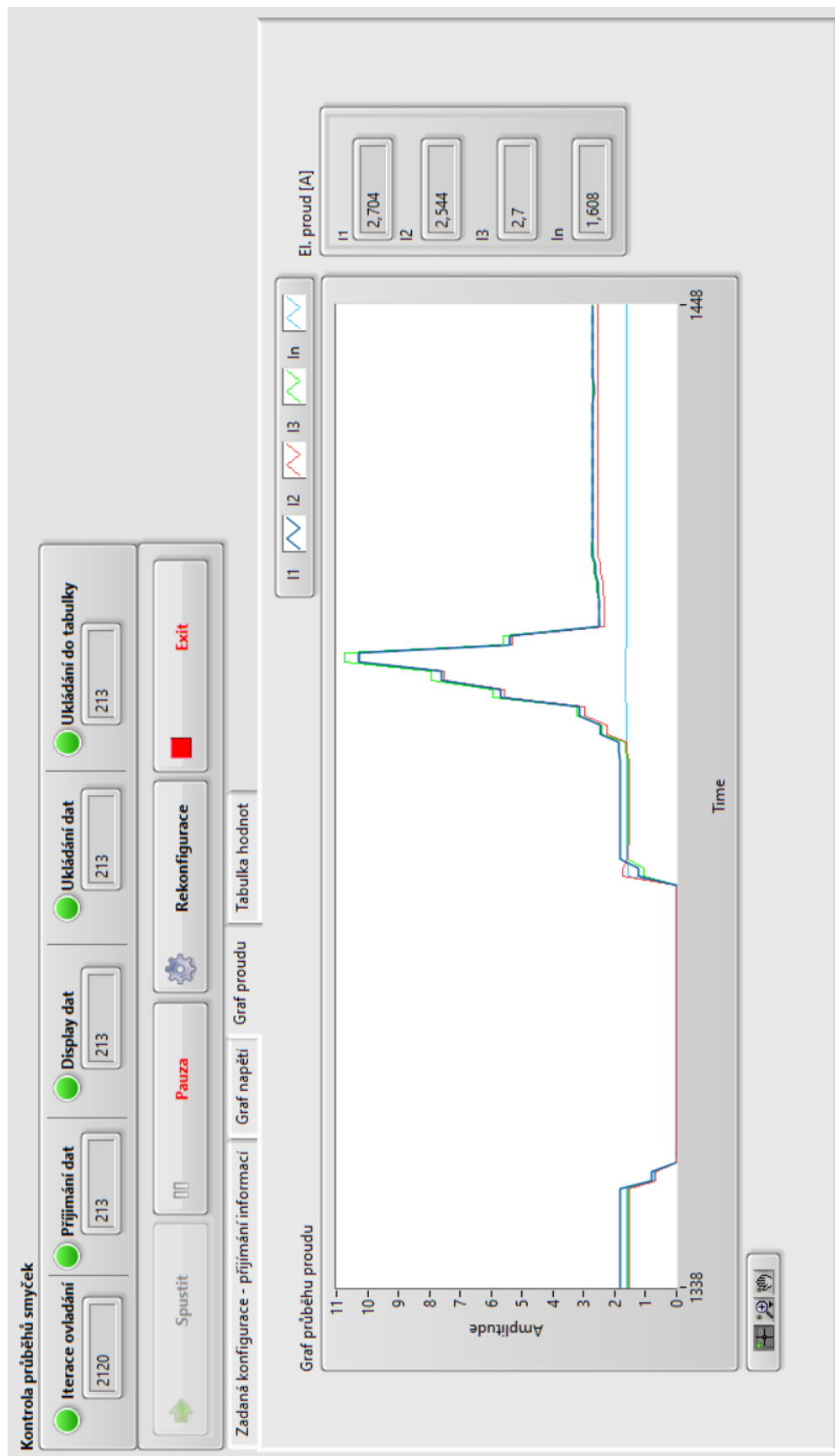




Příloha 13. Přední panel aplikace pro Diris A10 – Graf napětí



Příloha 14. Přední panel aplikace pro Diris A10 – Graf proudu



Příloha 15. Přední panel aplikace pro Diris A10 – Tabulka hodnot

Kontrola průběhů smyček

Iterace ovládání 4888 Příjímání dat 491 Display dat 491 Ukládání dat 491 Ukládání do tabulky 491

Spustit Pauza Rekonfigurace Exit

Zadaná konfigurace - přijímání informací Graf napětí Graf proudu Tabulka hodnot

Datum	Čas	S	RMS U	S	RMS U	S	RMS U	F	RMS U	F	RMS U	F	RMS I ₃	RMS I ₂	RMS I ₁	P [W]	Q [var]	S [VA]	W[kWh]	W[kvar]	W [kVA]
23.06.20.	16:53:10	409,9200	409,4200	408,5800	236,1000	236,7800	236,0600	50,010000	2,732000	2,552000	2,732000	2,732000	2,732000	2,732000	2,732000	1,760000	1,880000	1,628000	0,065535	0,032767	0,098300
23.06.20.	16:53:11	409,9100	409,3800	408,5100	236,0700	236,7800	236,0300	50,010000	2,728000	2,552000	2,728000	2,732000	2,732000	2,732000	2,732000	1,760000	1,880000	1,628000	0,065535	0,032767	0,098300
23.06.20.	16:53:14	409,9800	409,4100	408,5100	236,0900	236,8300	236,0200	50,010000	2,732000	2,552000	2,732000	2,732000	2,732000	2,732000	2,732000	1,760000	1,880000	1,628000	0,065535	0,032767	0,098300
23.06.20.	16:53:17	409,8600	409,2900	408,3300	236,0200	236,7500	235,9200	50,010000	2,728000	2,552000	2,728000	2,728000	2,728000	2,728000	2,728000	1,760000	1,880000	1,628000	0,065535	0,032767	0,098300
23.06.20.	16:53:18	409,7900	409,1700	408,2500	235,9800	235,8800	235,8700	50,010000	2,732000	2,552000	2,732000	2,724000	2,724000	2,724000	2,724000	1,760000	1,880000	1,628000	0,065535	0,032767	0,098300
23.06.20.	16:53:19	409,5800	408,9400	408,0600	235,8800	235,5600	235,7300	50,010000	2,724000	2,548000	2,724000	2,724000	2,724000	2,724000	2,724000	1,760000	1,880000	1,624000	0,065535	0,032767	0,098300
23.06.20.	16:53:20	409,4800	408,7800	407,9400	235,8100	236,4900	235,6500	50,010000	2,728000	2,548000	2,728000	2,720000	2,720000	2,720000	2,720000	1,760000	1,880000	1,624000	0,065535	0,032767	0,098300
23.06.20.	16:54:43	409,2200	409,4900	409,2000	236,0900	236,4200	236,4300	49,980000	2,724000	2,532000	2,724000	2,768000	2,768000	2,768000	2,768000	1,760000	1,880000	1,632000	0,065535	0,032767	0,098300
8.																					
9.																					
10.																					
11.																					
12.																					

Vyber řádek 2

Definice souboru

Zaznamenat Uložit Smazat

Příloha 16. Vzhled pracoviště při ověřování aplikace pro přístroj Diris A10



Příloha 17. Aplikace pro zpracování a analýzu dat z DAQ měřící karty.....Datový nosič
Aplikace pro zpracování a analýzu dat z elektroměru Diris A10....Datový nosič